

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-90737

(43) 公開日 平成10年(1998) 4月10日

(51) Int.Cl.⁸

G 0 2 F 1/35

識別記号

F I

G 0 2 F 1/35

審査請求 未請求 請求項の数21 O L (全 23 頁)

(21) 出願番号 特願平9-198840

(22) 出願日 平成9年(1997) 7月24日

(31) 優先権主張番号 特願平8-195078

(32) 優先日 平8(1996) 7月24日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000002130

住友電気工業株式会社

大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号

(71) 出願人 000004226

日本電信電話株式会社

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号

(72) 発明者 奥野 俊明

神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電

気工業株式会社横浜製作所内

(72) 発明者 大西 正志

神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電

気工業株式会社横浜製作所内

(74) 代理人 弁理士 長谷川 芳樹 (外3名)

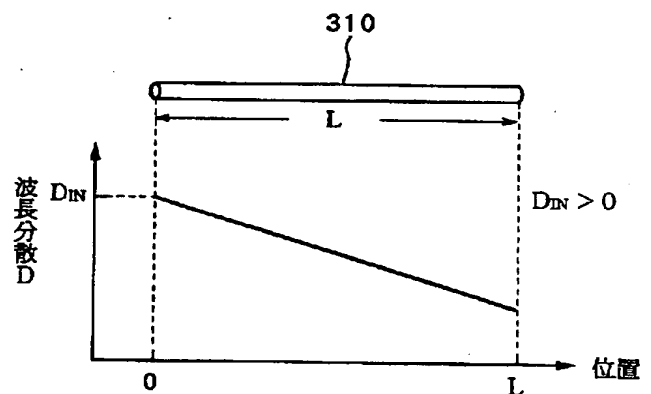
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光ファイバ、光源装置及びシステム

(57) 【要約】

【課題】 非線形現象光の生じる光ファイバを提供する。

【解決手段】 本実施例にかかる非線形光発生ファイバは、入力されるパルス光に応じて非線形現象光を出力する光ファイバ310であって、パルス光の進行方向に沿って所定波長領域内の波長分散Dが正の値から減少する分散減少領域を備える。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 入力される所定波長のパルス光に応じて非線形現象光を出力する光ファイバであって、前記非線形現象光の主要生成領域は、前記パルス光の進行に伴い、波長分散が正の値から減少する分散減少領域を備えることを特徴とする光ファイバ。

【請求項2】 前記非線形現象光は、スーパーコンティニウム光であることを特徴とする請求項1に記載の光ファイバ。

【請求項3】 信号光と異なる波長のポンプ光を入力して、所定の波長領域で非線形現象光を生成する光ファイバであって、信号光波長帯で分散スロープの絶対値が $0.04 \text{ (ps/nm}^2/\text{km)}$ 以下であり、光ファイバの長手方向に零分散波長を 5 nm 以上増加又は減少させたことを特徴とする光ファイバ。

【請求項4】 前記分散減少領域において前記パルス光の進行に伴って波長分散が、正の値から負の値まで減少することを特徴とする請求項1又は3に記載の光ファイバ。

【請求項5】 前記分散減少領域は、所定位置で $1.5 \mu\text{m}$ 帯の零分散波長を有することを特徴とする請求項1又は3に記載の光ファイバ。

【請求項6】 前記分散減少領域は、偏波保持ファイバを含むことを特徴とする請求項1又は3に記載の光ファイバ。

【請求項7】 前記光ファイバ 1 m あたりの平均外径が、長手方向に $2 \mu\text{m}$ 以上増加又は減少している部分を含むことを特徴とする請求項1に記載の光ファイバ。

【請求項8】 前記光ファイバの外径に対するコアの直径の比が長さ方向に 0.005 以上増加又は減少している部分を含むことを特徴とする請求項1に記載の光ファイバ。

【請求項9】 前記分散減少領域は、コア及び前記コアを囲むクラッドを有し、前記コアの直径及び前記クラッドの直径は共に長手方向に沿って増加又は減少している部分を含むことを特徴とする請求項1に記載の光ファイバ。

【請求項10】 前記コアの石英に対する比屈折率差は $+1.2\%$ 以上であり、前記クラッドの前記コア近傍の石英に対する比屈折率差は -0.6% 以下であることを特徴とする請求項6、7又は8に記載の光ファイバ。

【請求項11】 前記分散減少領域の前記所定波長領域内の分散スロープは、 $-0.1 \text{ (ps/nm}^2/\text{km)}$ 以上、 $0.1 \text{ (ps/nm}^2/\text{km)}$ 以下であることを特徴とする請求項1又は3に記載の光ファイバ。

【請求項12】 前記分散減少領域の前記所定波長領域内の分散スロープの絶対値は、 $0.04 \text{ (ps/nm}^2/\text{km)}$ 以下であることを特徴とする請求項1に記載の光ファイバ。

【請求項13】 前記パルス光のピークパワー P_{peak} 、

前記分散減少領域の非線形屈折率 n_2 、及び実効コア断面積 A_{eff} は、 $(n_2/A_{\text{eff}}) \cdot P_{\text{peak}} > 4.5 \times 10^{-10}$ の関係を満たすことを特徴とする請求項1又は3に記載の光ファイバ。

【請求項14】 前記パルス光のピークパワー P_{peak} 、前記分散減少領域の非線形屈折率 n_2 、及び実効コア断面積 A_{eff} は、 $(n_2/A_{\text{eff}}) \cdot P_{\text{peak}} > 6.4 \times 10^{-12}$ の関係を満たすことを特徴とする請求項1に記載の光ファイバ。

【請求項15】 前記非線形屈折率 n_2 が、 $4 \times 10^{-20} \text{ (m}^2/\text{W)}$ 以上であることを特徴とする請求項1又は3に記載の光ファイバ。

【請求項16】 請求項1に記載の前記光ファイバと、前記光ファイバの一端に光学的に結合し前記パルス光を出射する光源と、を備えることを特徴とする光源装置。

【請求項17】 請求項1に記載の前記光ファイバと、前記光ファイバの一端に光学的に結合し前記パルス光を出射する光源と、前記光ファイバの他端に光学的に結合した光分波器を備えたことを特徴とする光源システム。

【請求項18】 請求項1に記載の前記光ファイバと、前記光ファイバの一端に光学的に結合し前記パルス光を出射する光源と、前記パルス光とともに複数の信号光を前記ファイバの前記一端に結合させる光合波器と、を備える光源システム。

【請求項19】 励起光を発生する光源と、前記励起光及び信号光が入力され、非線形現象光を出射する光ファイバとを備えた光源装置において、前記信号光の波長帯における前記光ファイバの分散スロープの絶対値は $0.04 \text{ (ps/nm}^2/\text{km)}$ 以下であり、前記光ファイバの零分散波長は前記励起光の波長を含む所定の波長範囲内で前記光ファイバの長手方向に沿って変化していることを特徴とする光源装置。

【請求項20】 前記非線形現象光は、アイドラ光であることを特徴とする請求項19に記載の光源装置。

【請求項21】 前記励起光の波長は可変可能であることを特徴とする請求項19に記載の光源装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、高ピークパワーの光パルスの入射による非線形光学効果に基いて発生するスーパーコンティニウム光又はアイドラ光等の非線形現象光を出射する光ファイバ及び光源装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 光通信技術の発展に伴い、短パルス光であり、かつ、波長幅の広い光源が期待されている。こうした光源に関する技術として、高ピークパワーの光パルス光を光非線形媒質中に入射させたときの、波長幅の広いパルス光であるスーパーコンティニウム (SC) 光の発生が注目されている。

【0003】近年、非線形媒質として光ファイバ（以後、SCファイバとも呼ぶ）を使用した、SC光の生成の実験がなされ、発表されている（「森 他：1992年電子情報通信学会秋季大会 C-255、pp4-277（以後、従来例1と呼ぶ）」、「森 他：1993年電子情報通信学会秋季大会 B-920、pp4-161（以後、従来例2と呼ぶ）」、「T. Morioka et al. : ELECTRONICS LETTERS, 7th July 1994, Vol.30, No.14, pp1166-1168（以後、従来例3と呼ぶ）」、「T. Morioka et al. : OFC'96, PD21, 1996（以後、従来例4と呼ぶ）」、「T. Morioka et al. : ELECTRONICS LETTERS, 22nd June 1995, Vol.31, No.13（以後、従来例5と呼ぶ）」など）。

【0004】従来例1は、波長分散（正常分散または異常分散）や長さの異なる光ファイバに、零分散領域に中心波長を有するピークパワーが数10Wのピコ秒パルス光を入射した場合のSC光の発生の実験結果を開示している。そして、光ファイバが異常分散を有する場合の方が、正常分散を有する場合よりもSC光の帯域が広いことを開示している。

【0005】従来例2は、波長分散（分散フラットまたは分散シフト）や長さの異なる光ファイバに、半導体レーザー（LD）からのパルス光を入射した場合のSC光の発生の実験結果を開示している。そして、光ファイバが分散フラット型の分散を有する場合の方が、分散シフト型の分散を有する場合よりもSC光の帯域が広いことを開示している。

【0006】従来例3は、SC光用の光ファイバとして、長さが3[km]、波長が1541nmにおいて分散値が0.1[ps/nm/km]の分散シフトファイバを使用した場合のSC光の発生を開示している。

【0007】従来例4および従来例5は、SC光用の光ファイバとして、分散シフトファイバを使用した場合の、入射端と出射端におけるスペクトルを開示している。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】従来例1～5では、SC光については開示されているものの、SC光を発生するための光ファイバに関しては開示されていない。本発明は、上記を鑑みてなされたものであり、波長幅が広く、波長幅での平坦性が高いSC光やアイドラ光等の非線形現象光を効率的に生成するのに好適な光ファイバ及び光源装置を提供することを目的とする。

【0009】

【課題を解決するための手段】本発明に係る光ファイバは、入力される所定波長のパルス光に応じて非線形現象光を出力する光ファイバであって、非線形現象光の主要生成領域は、パルス光の進行に伴い、波長分散が正の値から減少する分散減少領域を備えることを特徴とする。非線形現象光は、スーパーコンティニウム光又はアイド

ラ光等の非線形現象光によって発生する光である。光ファイバが、上記分散減少領域を備える場合、これらの非線形現象光が効率的にかつ広帯域に発生する。

【0010】また、分散減少領域内において、パルス光の進行方向に伴って波長分散が、正の値から負の値まで減少している場合には更に効率的にスーパーコンティニウム光が発生する。信号光と異なる波長のポンプ光を入力して、所定の波長領域で非線形現象光を生成する光ファイバであって、信号光波長帯で分散スロープの絶対値が0.04[ps/nm²/km]以下であり、光ファイバの長手方向に零分散波長を5nm以上増加又は減少させた場合には、アイドラ光等の非線形現象光が効率的に発生する。

【0011】この分散減少領域は、所定位置で1.5μm帯の零分散波長を有することが好ましい。この場合、入力されるパルス光を励起光として信号光を同時に前記光ファイバに導入すると、効率的にアイドラ光等の非線形現象光を発生させることができる。

【0012】分散減少領域は、偏波保持ファイバを含むことが望ましく、非線形現象光の発生するための四光波混合が発生しやすくなり、さらに効率的に非線形現象光を発生させることができる。

【0013】また、光ファイバ1mあたりの平均外径が長手方向に2μm以上増加又は減少している部分を含む場合や、光ファイバの外径に対するコアの直径の比が長さ方向に0.005以上増加又は減少している部分を含む場合には、効率的に非線形現象光を発生させることができる。

【0014】さらに、非線形現象光の発生のためには、分散減少領域は、コア及びコアを囲むクラッドを有し、コアの直径及びクラッドの直径は共に長手方向に沿って減少している部分を含むことが望ましく、コアの石英に対する比屈折率差は+1.2%以上であり、クラッドのコア近傍の石英に対する比屈折率差は-0.6%以下であることが望ましい。

【0015】また、非線形現象光を発生させるためには、分散減少領域の所定波長領域内の分散スロープは、-0.1[ps/nm²/km]以上、0.1[ps/nm²/km]以下であることが望ましい。

【0016】この分散減少領域の所定波長領域内の分散スロープの絶対値が、0.04[ps/nm²/km]以下である場合には、アイドラ光等の非線形現象光を効率的に発生させることができる。

【0017】非線形現象光を発生させるためには、前記パルス光のピークパワー P_{peak} 、分散減少領域の非線形屈折率 n_2 、及び実効コア断面積 A_{eff} は、 $(n_2/A_{eff}) \cdot P_{peak} > 4.5 \times 10^{-10}$ の関係を満たすことが望ましい。

【0018】また、パルス光のピークパワー P_{peak} 、分散減少領域の非線形屈折率 n_2 、及び実効コア断面積 A

$_{\text{eff}}$ は、 $(n_2/A_{\text{eff}}) \cdot P_{\text{peak}} > 6 \cdot 4 \times 10^{-12}$ の関係を満たすことが更に望ましい。

【0019】この場合、特に非線形屈折率 n_2 が、 $4 \times 10^{-20} \text{ (m}^2/\text{W)}$ 以上であれば更に好適に非線形現象光を発生させることができる。

【0020】また、本発明の光源装置は、前記光ファイバと、光ファイバの一端に光学的に結合しパルス光を出射する光源とを備えることを特徴とする。

【0021】また、本発明の光源システムは、前記光ファイバと、光ファイバの一端に光学的に結合しパルス光を出射する光源と、光ファイバの他端に光学的に結合した光分波器を備えたことを特徴とする。光源から出射されたパルス光は光ファイバに入射して広い波長範囲のスーパーコンティニウム光等の非線形現象光として出力されるが、これは光分波器で波長毎に分離され、波長多重の通信に利用することができる。

【0022】また、本発明の光源システムは、前記光ファイバと、光ファイバの一端に光学的に結合しパルス光を出射する光源と、パルス光とともに複数の信号光をファイバの一端に結合させる光合波器とを備えたことを特徴とする。複数の信号光は励起光とともに光合波器によって光ファイバに入力されるため、複数のアイドラ光を発生させることができる。

【0023】また、励起光を発生する光源と、励起光及び信号光が入力され、非線形現象光を出射する光ファイバとを備えた光源装置において、信号光の波長帯における光ファイバの分散スロープの絶対値は $0.04 \text{ (ps/nm}^2/\text{km)}$ 以下であり、光ファイバの零分散波長は励起光の波長を含む所定の波長範囲内で光ファイバの長手方向に沿って変化している場合には、アイドラ光等の非線形現象光の発生を行うことができる。本発明では、励起光の波長の値に拘らず、光ファイバのいずれかの地点において零分散波長とこれを一致させることができるため、効率的にアイドラ光等の非線形現象光の発生させることができる。特に、励起光の波長が可変可能である場合には、アイドラ光は信号光に対して対称な位置の波長を有するため、励起光の波長を変えることによって、信号光の波長を変えることなくアイドラ光の波長を変えることができる。

【0024】なお、上述の現象発生の考えられる原理等について以下に説明する。すなわち、上記光ファイバでは、高ピークパルス光が分散減少領域に入力すると、光カー効果によって、光が感じる屈折率が変化し、光波の自己位相変調が発生する。この結果、光ファイバ内の光の波長分布に、パルス光の立ち上がりで波長が長く、パルス光の立ち下がりで波長が短い負のチャープが発生する。分散減少領域に入力した光は、少なくとも当初は、異常分散の領域を進行するので、波長の長い方が群速度の遅い異常分散領域では、波長分布の発生とパルス圧縮とが同時に進行する。

【0025】分散が長手方向に減少していると、圧縮が更に効率的に行われてパルスピークパワーが大きくなるが、すると非線形現象がより起こりやすくなり、スペクトルの広がりが発生する。

【0026】光カー効果の自己位相変調、四光波混合等によって、このように広い波長範囲の波長の光を得ることができ、スーパーコンティニウム光となる。効率的な四光波混合を促進するためには、異なる波長の光が略同一時刻かつ略同一位置に存在して相互作用する必要があるが、こうした相互作用を効率良く行なうには、異なる波長の光の間での群速度の差が小さいことが望ましい。

【0027】光が進行するべき方向において、異常分散で始まって、波長分散が減少する分散減少領域を備える光ファイバでは、スーパーコンティニウム光発生の主要部である分散減少領域で、主に自己位相変調や四光波混合等よりスーパーコンティニウム光を生成している。

【0028】そして、波長分散が光の進行方向で変化することにより、四光波混合が発生する光の波長付近で零分散波長の一種の走査が行われることになるので、様々な波長の光同士で四光波混合が発生しやすくなり、広い波長範囲の波長の光が生成される。この結果、広い波長範囲でのスーパーコンティニウム光が発生する。

【0029】なお、分散減少領域以外の部分は、スーパーコンティニウム光の波長範囲で分散の絶対値が小さいこと、また、分散スロープの絶対値の小さな分散フラットファイバを使用することが、四光波混合およびスーパーコンティニウム光に含まれる各波長の光の相互作用長が長くなる点から望ましい。

【0030】分散減少領域は波長分散が異なる複数の光ファイバを備え、これらの複数の光ファイバが長手方向に縦続接続されている構成でもよい。

【0031】波長分散が異なる複数の光ファイバを長手方向に縦続接続して、光ファイバを構成するので、この光ファイバを容易に製造可能である。

【0032】なお、上記光ファイバにおいて、(i) 正の値である第1の平均波長分散値を有する第1の光ファイバと、(ii) 第1の平均波長分散値よりも小さな第2の平均波長分散値を有するとともに、第1の光ファイバの光を出射すべき端面に光を入射すべき端面が接続された第2の光ファイバとを備えることを特徴としてもよい。この光ファイバでは、光の進行方向における波長分散の減少変化が離散的となるが、自己位相変調や四光波混合等の発生について上記と同様に作用する。なお、この光ファイバでは、光の進行方向で波長分散が増加しない構成とすることを条件に、更に適当な波長分散値を有する光ファイバを第2の光ファイバの下流側に縦続接続してもよい。

【0033】分散減少領域の各位置における、スーパーコンティニウム光の生成波長域での波長に関する分散スロープが、 $-0.1 \text{ [ps/nm}^2/\text{km}] \sim 0.1$

$[ps/nm^2/km]$ である場合、分散減少領域の各位置における波長間での分散の差が小さい。したがって、非線形光学効果である光カー効果が効率的に発現し、広い波長範囲のスーパーコンティニウム光を生成することができる。

【0034】また、広い波長範囲のスーパーコンティニウム光の生成の観点からは、分散スロープの絶対値は小さい程好ましい。例えば、分散スロープ値が、 $-0.04 [ps/nm^2/km] \sim 0.04 [ps/nm^2/km]$ となる分散フラットファイバを使用することが好ましい。

【0035】なお、分散スロープに関しては絶対値が問題であり、絶対値が同一であれば、値の符号が異なっているとしても、スーパーコンティニウム光の波長幅への寄与はあまり変わらない。

【0036】分散減少領域において、光が進行すべき方向で、分散スロープが、例えば、正の値から負の値まで、または、負の値から正の値まで変化し、分散スロープが一定である場合よりも群遅延差が低減される場合、分散減少領域での分散スロープを、光の進行方向で極性が変化する程度に変化させることにより、分散スロープが一定である場合よりも、分散減少領域における群遅延差を低減することができる。この結果、各波長の光の時間領域での重なりが増加し、効率的にスーパーコンティニウム光を発生することができる。

【0037】分散減少領域が $1.5 \mu m$ 帯に零分散波長を有する場合には、以下の利点を有する。近年、石英ガラスを主材とする光ファイバの使用にあたって、光ファイバを伝搬させる光としては、伝送損失が低い $1.5 \mu m$ 帯の波長の光が多用される。したがって、波長分散による波形の歪の防止の観点から、光ファイバとして、 $1.5 \mu m$ 帯に零分散波長を有する光ファイバが使用される。この場合、 $1.5 \mu m$ 帯に零分散波長を有するので、 $1.5 \mu m$ 帯の波長を有するスーパーコンティニウム光の成分については、波長分散の影響が低減され、好適なスーパーコンティニウム光の出力を得ることができる。なお、 $1.3 \mu m$ 帯でのSC光の発生を行う場合には、零分散波長を $1.3 \mu m$ 帯の波長に設定することが好適である。

【0038】更に、零分散波長を $1.3 \mu m$ 帯または $1.5 \mu m$ 帯の波長として、 $1.3 \mu m$ 帯および $1.5 \mu m$ 帯のSC光を発生させることも可能である。

【0039】上記分散減少領域が偏波保持特性を有する場合、以下に利点を有する。非線形光学効果の発現の度合いは、媒体物質の組成と伝搬光の偏波面の方向とに依存する。したがって、このように分散減少領域が偏波保持特性を有する場合、同一の条件で、時間を隔てて光パルスが入力した場合、同様の非線形光学効果が発現し、安定したスーパーコンティニウム光の発生が行なわれる。また、四光波混合については、相互作用する2つの

光が同一の偏波面方向を有する場合に、最も良く四光波混合が発生する。したがって、この光ファイバでは、スーパーコンティニウム光の発生の過程で偏波面が保持されるので、自己位相変調や四光波混合によって発生した各波長の光は同様の偏波面方向を有し、効率良くスーパーコンティニウム光を発生することができる。

【0040】分散減少領域において、非線形屈折率 n_2 と実効コア断面積 A_{eff} と入射したパルス光のピークパワー P_{peak} との間に、 $(n_2/A_{eff}) \cdot P_{peak} > 0.03 \times 10^{-8} [1/W] \times 1.5 [W] = 0.045 \times 10^{-8}$ 、の関係が成り立つ場合、以下の利点を有する。屈折率 n は、入力光のパワーレベル P の関数であり、 $n(P) = n_0 + (n_2/A_{eff}) \cdot P \dots (2)$ 、ここで、 n_0 : 0次屈折率、と表すことができる。そして、 $(n_2/A_{eff}) \cdot P$ が大きい程、非線形光学効果の発現が顕著となり、効率良くスーパーコンティニウム光が生成される。なお、入力光のパワーレベル P が同一であれば、 (n_2/A_{eff}) が大きい程、非線形光学効果の発現が顕著となり、効率良くスーパーコンティニウム光が生成される。

【0041】この光ファイバでは、 $(n_2/A_{eff}) \cdot P_{peak} > 0.045 \times 10^{-8}$ としたので、効率的に数 $10 nm$ 以上の波長幅でSC光が生成される。なお、通常の半導体レーザと光ファイバ増幅器とを用いた場合に容易に得られるピークパワーレベル P_{peak} は $1.5 [W]$ 程度であるので、 $(n_2/A_{eff}) > 0.03 [1/W]$ とすることで、効率的に数 $10 nm$ 以上の波長幅でSC光が生成される。

【0042】また光源装置は、(a) 所定の波長の高ピークパルス光を発生するパルス光発生手段と、(b) パルス光発生手段が発生した高ピークパルス光を入力し、スーパーコンティニウム光を生成する上記光ファイバとを備える。この光源装置では、パルス光発生手段が所定の波長の高ピークパルス光を発生し、発生した高ピークパルス光を上記光ファイバへ入力する。高ピークパルス光がこの光ファイバに入力して進行すると、上記で説明したように、スーパーコンティニウム光を生成し、光源の出力として出力する。

【0043】このパルス光発生手段は、(i) 短パルス光を発生するパルス光発生器と、(ii) パルス光発生器から出力された短パルス光を入力し、増幅して出力する光増幅器とを備えていてもよい。この場合、高ピークパルス光の発生にあたっては、パルス光発生器が発生した短パルス光を、光増幅器で増幅することにより、高ピークパルス光を得ることとすることにより、パルス光発生器が単体で高ピークパルス光を発生することを必要とせず済み、容易にスーパーコンティニウム光を出力する光源を実現できる。なお、上記光ファイバはスーパーコンティニウム光だけでなく、アイドラ光の発生にも有効である。

【0044】

【発明の実施の形態】以下、添付図面を参照して本発明の光ファイバと光源装置の実施の形態を説明する。なお、図面の説明にあたって同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。

【0045】（第1実施形態）図1は、本発明の光源装置の第1実施形態の構成図である。図1に示すように、この装置は、（a）所定波長のパルス光を発生する光パルス発生器100と、（b）光パルス発生器100から出力されたパルス光を入力し、増幅して、高ピークパルス光を出力する光増幅器200と、（c）光増幅器200から出力された高ピークパルス光を入力し、伝搬することによってSC光を生成し、出力する光ファイバ310とを備える。

【0046】図2は、光ファイバ310の構成図であり、長手方向（光の進行方向）における、波長分散の分布を示している。図2に示すように、光ファイバ310は、光増幅器200からの高ピークパルス光の入射端での波長分散 D_{IN} が正の値であり、長手方向に沿って、波長分散 D が線形に減少する。

【0047】本実施形態の光源装置では、まず、光パルス発生器100が、所定波長の短パルス光を発生する。光パルス発生器100から出力された短パルス光は、光増幅器200に入力し、増幅され、高ピークパルス光となって出力される。そして、光増幅器200から出力された高ピークパルス光が光ファイバ310に入力する。

【0048】光ファイバ310に、高ピークパルス光が入力すると、光カー効果によって、光が感じる屈折率が変化し、光波の自己位相変調が発生する。この結果、光ファイバ310内での光パルス内に波長分布が発生する。光ファイバ310に入力した光は、波長分散が正の値である異常分散の領域を進行するので、波長の長い方が群速度の遅い異常分散領域では、パルス圧縮が進む。分散が長手方向に減少していると、パルスはさらに強制的に圧縮される為、ピークパワーは増大する。これが更に非線形効果を助長し、スペクトルの拡大につながっている。

【0049】圧縮された光パルスには、ある程度の波長範囲の波長の光が含まれているが、分散値が正から負へ変化する最中に、光カー効果による四光波混合の影響を強く受け、更に広い波長範囲の波長の光が発生する。こうして、SC光が生成される。

【0050】図2に示すように、光ファイバ310は、その波長分散 D が進行方向の位置 Z の関数であって、 $D(Z) = D_{IN} - (\Delta D) \cdot Z \dots (3)$

と表される。したがって、光が進行すると、自己位相変

$$(n_2/A_{eff}) \cdot P_{peak} > 0.03 \times 10^{-8} [1/W] \times 1.5 [W] = 0.045 \times 10^{-8} \dots (1)$$

の関係が成り立つことが必要である。

調によるスペクトル拡大は発生しにくくなるが、進行による異なる波長の光の間での位相差の発生は徐々に低減する。このため、波長分散 D が進行方向の位置 Z に依存せず、

$$D(Z) = D_{IN} \dots (4)$$

が成り立つ場合に比べて、異なる波長の光の時間的な重なりが大きくなり、効率的に四光波混合が発生する。

【0051】すなわち、光ファイバ310では、光が進行するべき方向において、異常分散で始まって、波長分散が減少する分散減少領域を備え、SC光発生の主要部である分散減少領域で、異常分散によるパルス圧縮、自己位相変調、四光波混合等の非線形現象によりSC光を生成している。

【0052】そして、波長分散が光の進行方向で変化することにより、四光波混合が発生する光の波長付近で、零分散波長の一種の走査が行われることになるので、様々な波長の光同士で四光波混合が発生しやすくなり、広い波長範囲の波長の光が生成される。

【0053】なお、本実施形態においては、光ファイバの分散スロープの絶対値が小さいことが望ましい。分散スロープの絶対値が小さいと、波長が異なる光での時間的な重なりが大きくなるので、四光波混合が発生しやすくなるからである。

【0054】また、分散スロープの長手方向に関する積分値の絶対値が小さい程、波長が異なる光での時間的な重なりが大きくなるので、四光波混合が発生しやすくなる。

【0055】また、分散減少領域での波長分散値は正の値から負の値まで変化することが好ましい。

【0056】分散スロープが所定波長範囲で正であるファイバにおいて、波長分散値が正の値を有する場合には、入射した高ピークパルス光の波長よりも短い波長の光が生成されやすく、波長分散値が負の値を有する場合には、入射した高ピークパルス光の波長よりも長い波長の光が生成されやすい。

【0057】したがって、分散減少領域での波長分散値は正の値から負の値まで変化していると、入射した高ピークパルス光の波長に対して短長両側の波長帯の光が効率的に生成されるので、広い波長範囲でのSC光を発生する。

【0058】更に、自己位相変調や四光波混合の原因となる非線形光学効果であるカー効果は、非線形屈折率が大きい程、また、光強度密度が大きい程、発現しやすくなる。数10nm以上の波長幅とするには、非線形屈折率 n_2 と実効コア断面積 A_{eff} と高ピークパルス光のピークパワー P_{peak} との間に、

【0059】図3は、高ピークパルス光のピークパワー

P_{peak} が1.5 [W] のときの非線形屈折率 n_2 と実効コア断面積 A_{eff} との比の値とSC光の波長幅との関係を示すグラフである。なお、以下で、光ファイバの長さをして、分散スロープを D_{SLOP} と記す。

【0060】この実測にあたっては、光ファイバ310として、

$$D_{\text{IN}}=1\sim4\text{ [ps/nm/km]}$$

$$\Delta D=0.5\sim2\text{ [ps/nm/km}^2\text{]}$$

$$D_{\text{SLOP}}=0.035\text{ [ps/nm}^2\text{/km]}$$

$$L=3\text{ [km]}$$

の特性の光ファイバを使用した。

【0061】また、光ファイバ310に入力する高ピークパルス光は、

$$\text{パルス中心波長}(\lambda_0)=1550\text{ [nm]}$$

$$\text{パルスピークパワー}=1.5\text{ [W]}$$

$$\text{パルス幅}=3.5\text{ [ps]} \text{ (半値全幅)}$$

とした。

【0062】そして、種々の D_{IN} と ΔD とを組合せて、非線形屈折率 n_2 と実効コア断面積 A_{eff} との比の値とSC光の波長幅とを計算した。

【0063】図3から、高ピークパルス光のピークパワー P_{peak} が1.5 [W] のとき、 $n_2/A_{\text{eff}}>0.03\times 10^{-8}\text{ [1/W]}$ であれば、 D_{IN} と ΔD との組合せにかかわらず、光周波数の変位の幅 wf が5000 [GHz] 程度以上のSC光が生成されて出力された。

【0064】なお、光周波数の変位の幅 wf と波長範囲 $w\lambda$ との関係は、

$$w\lambda\sim(\lambda_0^2/C)\cdot wf\cdots(5)$$

ここで、 C :光速、

で表され、光周波数の変位の幅 wf を[THz] 単位

で、波長範囲 $w\lambda$ を[nm] 単位で表したとき、 $\lambda_0=1550\text{ [nm]}$ とすると、

$$w\lambda\sim 8wf\cdots(6)$$

となる。

【0065】すなわち、高ピークパルス光のピークパワー P_{peak} が1.5 [W] のとき、 $n_2/A_{\text{eff}}>0.03\times 10^{-8}\text{ [1/W]}$ であれば、約40 nm以上の波長幅のSC光が出力される。

【0066】また、本実施形態では、光ファイバ310が偏波保持ファイバであって偏波面保持特性を有することが好ましい。四光波混合については、相互作用する2つの光が同一の偏波面方向を有する場合に、最も良く四光波混合が発生するからである。

【0067】以下に、本実施形態の光源装置の実施例を説明する。

【0068】(実施例1) 図4は、実施例1の光源装置の構成図である。図4に示すように、この装置は、

(a) 所定波長のパルス光を発生する光パルス発生器100と、(b) 光パルス発生器100から出力されたパルス光を入力し、増幅して、高ピークパルス光を出力す

る光増幅器200と、(c) 光増幅器200から出力された高ピークパルス光を入力し、伝搬することによってSC光を生成し、出力する光ファイバ311とを備える。

【0069】光ファイバ311は、

$$D_{\text{IN}}=1\text{ [ps/nm/km]}$$

$$\Delta D=1/3\text{ [ps/nm/km}^2\text{]}$$

$$D_{\text{SLOP}}=0.07\text{ [ps/nm}^2\text{/km]}$$

$$L=3\text{ [km]}$$

$$n_2=2.0\times 10^{-20}\text{ [m}^2\text{/W]}$$

$$A_{\text{eff}}=50\text{ [\mu m}^2\text{]}$$

の分散シフトファイバである。

【0070】図5は、本実施例での高ピークパルス光と生成されたSC光とのスペクトルを示すグラフである。

図5(a)は光ファイバ311に入力する高ピークパルス光のスペクトルを示すグラフであり、図5(b)は光ファイバ311から出力されるSC光とのスペクトルを示すグラフである。

【0071】光ファイバ311に入力する高ピークパルス光は、図5(a)に示すスペクトル分布を有するとともに、

$$\text{パルス中心波長}(\lambda_0)=1550\text{ [nm]}$$

$$\text{パルスピークパワー}=1.5\text{ [W]}$$

$$\text{パルス幅}=3.5\text{ [ps]} \text{ (半値全幅)}$$

とした。

【0072】図5(b)に示すように、本実施例の光源装置では、波長=1550 [nm] の付近で、出力スペクトルにおけるフラットなピーク部分の光周波数の変位の幅 wf が約5000 [GHz] のSC光が生成されて出力された。すなわち、本実施例の光源装置では、約40 nmの波長幅のSC光が出力された。

【0073】(実施例2) 図6は、実施例2の光源装置の構成図である。図6に示すように、この装置は、

(a) 所定波長のパルス光を発生する光パルス発生器100と、(b) 光パルス発生器100から出力されたパルス光を入力し、増幅して、高ピークパルス光を出力する光増幅器200と、(c) 光増幅器200から出力された高ピークパルス光を入力し、伝搬することによってSC光を生成し、出力する光ファイバ312とを備える。

【0074】光ファイバ312は、

$$D_{\text{IN}}=1\text{ [ps/nm/km]}$$

$$\Delta D=0.5\text{ [ps/nm/km}^2\text{]}$$

$$D_{\text{SLOP}}=0.01\text{ [ps/nm}^2\text{/km]}$$

$$L=3\text{ [km]}$$

$$n_2=2.0\times 10^{-20}\text{ [m}^2\text{/W]}$$

$$A_{\text{eff}}=50\text{ [\mu m}^2\text{]}$$

の分散フラットファイバである。

【0075】図7は、本実施例で生成されたSC光のスペクトルを示すグラフである。なお、光ファイバ312

に入力する高ピークパルス光は、実施例1と同様とした。

【0076】図7に示すように、本実施例の光源装置では、波長=1550[μm]の付近で、出力スペクトルにおけるフラットなピーク部分の光周波数の変位の幅 w_f が約12000[GHz]のSC光が生成されて出力された。すなわち、本実施例の光源装置では、約96nmの波長幅のSC光が出力された。

【0077】本実施例は、実施例1と比べてSC光の波長幅が拡大した。

【0078】(実施例3)図8は、実施例3の光源装置の構成図である。図8に示すように、この装置は、

(a) 所定波長のパルス光を発生する光パルス発生器100と、(b) 光パルス発生器100から出力されたパルス光を入力し、増幅して、高ピークパルス光を出力する光増幅器200と、(c) 光増幅器200から出力された高ピークパルス光を入力し、伝搬することによってSC光を生成し、出力する光ファイバ313とを備える。

【0079】光ファイバ313は、
 $D_{IN}=0.7$ [ps/nm/km]
 $\Delta D=1/3$ [ps/nm/km²]
 $D_{SLOP}=0.01$ [ps/nm²/km]
 $L=3$ [km]
 $n_2=2.0 \times 10^{-20}$ [m²/W]
 $A_{eff}=50$ [μm²]
 の分散フラットファイバである。

【0080】図9は、本実施例で生成されたSC光のスペクトルを示すグラフである。なお、光ファイバ313に入力する高ピークパルス光は、実施例1と同様とした。

【0081】図9に示すように、本実施例の光源装置では、波長=1550[μm]の付近で、出力スペクトルにおけるフラットなピーク部分(±5[dB]程度以内)の光周波数の変位の幅 w_f が約10000[GHz]のSC光が生成されて出力された。すなわち、本実施例の光源装置では、約80nmの波長幅のSC光が出力された。

【0082】本実施例は、実施例1と比べて、実施例2と同様にSC光の波長幅が拡大した。

【0083】(実施例4)本実施例は、SC光の波長幅と分散スロープ D_{SLOP} との関係を系統的に計測したものである。

【0084】図10は、実施例4の光源装置の構成図である。図10に示すように、この装置は、(a) 所定波長のパルス光を発生する光パルス発生器100と、

(b) 光パルス発生器100から出力されたパルス光を入力し、増幅して、高ピークパルス光を出力する光増幅器200と、(c) 光増幅器200から出力された高ピークパルス光を入力し、伝搬することによってSC光を

生成し、出力する光ファイバ314とを備える。

【0085】光ファイバ314は、
 $D_{IN}=2$ [ps/nm/km]
 $\Delta D=1$ [ps/nm/km²]
 $D_{SLOP}=0.01 \sim 0.2$ [ps/nm²/km]
 $L=3$ [km]
 $n_2=6.0 \times 10^{-20}$ [m²/W]
 $A_{eff}=10$ [μm²]
 の分散フラットファイバである。

【0086】図11および図12は、本実施例で生成されたSC光のスペクトルを示すグラフである。図11

(a) は $D_{SLOP}=0.2$ の場合、図11(b) は $D_{SLOP}=0.1$ の場合、図11(c) は $D_{SLOP}=0.08$ の場合、図11(d) は $D_{SLOP}=0.05$ の場合、図12

(a) は $D_{SLOP}=0.03$ の場合、図12(b) は $D_{SLOP}=0.02$ の場合、および、図12(c) は $D_{SLOP}=0.01$ の場合を示す。なお、光ファイバ314に入力する高ピークパルス光は、実施例1と同様とした。

【0087】図11および図12に示すように、 D_{SLOP} が0.1以下で、波長=1550[μm]の付近で、出力スペクトルにおけるフラットなピーク部分の光周波数の変位の幅 w_f が約10000[GHz]のSC光が生成されて出力された。すなわち、本実施例の光源装置では、 D_{SLOP} が0.1以下で、約80nmの波長幅のSC光が出力された。

【0088】(実施例5)図13は、実施例5の光源装置の構成図である。図13に示すように、この装置は、

(a) 所定波長のパルス光を発生する光パルス発生器100と、(b) 光パルス発生器100から出力されたパルス光を入力し、増幅して、高ピークパルス光を出力する光増幅器200と、(c) 光増幅器200から出力された高ピークパルス光を入力し、伝搬することによってSC光を生成し、出力する光ファイバ315とを備える。

【0089】光ファイバ315は、
 $D_{IN}=2$ [ps/nm/km]
 $\Delta D=1$ [ps/nm/km²]
 $D_{SLOP}: 0.01 \sim 0.01$ [ps/nm²/km]
 で線形に減少
 $L=3$ [km]
 $n_2=3.0 \times 10^{-20}$ [m²/W]
 $A_{eff}=50$ [μm²]
 の分散フラットファイバである。

【0090】図14は、本実施例で生成されたSC光のスペクトルを示すグラフである。なお、光ファイバ315に入力する高ピークパルス光は、実施例1と同様とした。

【0091】図14に示すように、本実施例の光源装置では、波長=1550[μm]の付近で、出力スペクトルにおけるフラットなピーク部分の光周波数の変位の幅

ωf が約 30000 [GHz] の SC 光が生成されて出力された。すなわち、本実施例の光源装置では、約 240 nm の波長幅の SC 光が出力された。

【0092】（第2実施形態）図15は、本発明の光源装置の第2実施形態の構成図である。図15に示すように、この装置は、（a）所定波長のパルス光を発生する光パルス発生器100と、（b）光パルス発生器100から出力されたパルス光を入力し、増幅して、高ピークパルス光を出力する光増幅器200と、（c）光増幅器200から出力された高ピークパルス光を入力し、伝搬することによってSC光を生成し、出力する光ファイバ320とを備える。

【0093】図16は、光ファイバ320の長手方向（光の進行方向）における、波長分散の分布を示すグラフである。

【0094】本実施形態は、第1実施形態と比べて、光ファイバ320が、図16に示すように、光増幅器200からの高ピークパルス光の入射端での波長分散 D_{IN} が正の値であることは同様であるが、長手方向に沿って、波長分散 D が非直線的に減少する点異なる。

【0095】本実施形態の光源装置では、第1実施形態と同様に、光パルス発生器100が発生した短パルス光が光増幅器200に入力し、増幅され、高ピークパルス光となって出力され、光増幅器200から出力された高ピークパルス光が光ファイバ320に入力する。

【0096】以後、第1実施形態と同様にして、光ファイバ320に、高ピークパルス光が入力すると、光カー

$$\left(n_2 / A_{eff} \right) \cdot P_{peak} > 0.03 \times 10^{-8} [1/W] \times 1.5 [W] = 0.045 \times 10^{-8} \quad \dots (1)$$

の関係が成り立つことが必要である。

【0100】また、本実施形態では、第1実施形態と同様に、光ファイバ320が偏波保持ファイバであって偏波面保持特性を有することが好ましい。四光波混合については、相互作用する2つの光が同一の偏波面方向を有する場合に、最も良く四光波混合が発生するからである。

【0101】以下、本実施形態の実施例を説明する。

【0102】（実施例6）図17は、実施例6の光源装置の構成図である。図17に示すように、この装置は、

（a）所定波長のパルス光を発生する光パルス発生器100と、（b）光パルス発生器100から出力されたパルス光を入力し、増幅して、高ピークパルス光を出力する光増幅器200と、（c）光増幅器200から出力された高ピークパルス光を入力し、伝搬することによってSC光を生成し、出力する光ファイバ321とを備える。

【0103】光ファイバ321は、
 $D_{IN} = 1.8 [ps/nm/km]$
 $D_{OUT} = -0.1 [ps/nm/km]$
 $D_{SLOP} = 0.01 [ps/nm^2/km]$

効果によって、光が感じる屈折率が変化する、光波の自己位相変調が発生する。この結果、光ファイバ320内の光パルス内に波長分布が発生する。光ファイバ320に入力した光は、波長分散が正の値である異常分散の領域を進行するので、波長の長い方が群速度の遅い異常分散領域では、パルス圧縮が進む。分散が長手方向に減少しているとパルスは更に強制的に圧縮される為、ピークパワーは増大する。これが更に非線形効果を助長し、スペクトルの拡大につながっている。

【0097】圧縮された光パルスには、ある程度の波長範囲の波長の光が含まれているが、分散値が正から負へ変化する最中に、光カー効果による四光波混合の影響を強く受け、更に広い波長範囲の波長の光が発生する。こうして、SC光が生成される。

【0098】なお、本実施形態においても、第1実施形態と同様に、光ファイバの分散スロープの絶対値が小さいことが望ましく、また、分散スロープの長手方向に関する積分値の絶対値が小さい程、波長が異なる光での時間的な重なりが大きくなるので、四光波混合が発生しやすくなる。

【0099】更に、第1実施形態と同様に、自己位相変調や四光波混合の原因となる非線形光学効果であるカー効果は、非線形屈折率が大きい程、また、光強度密度が大きい程、発現しやすくなる。数10nm以上の波長幅とするには、非線形屈折率 n_2 と実効コア断面積 A_{eff} と高ピークパルス光のピークパワー P_{peak} との間に、

$$\begin{aligned} L &= 3 [km] \\ n_2 &= 2.0 \times 10^{-20} [m^2/W] \\ A_{eff} &= 50 [\mu m^2] \end{aligned}$$

の分散フラットファイバである。

【0104】図18は、本実施例でのSC光の生成の測定結果を示すグラフである。なお、光ファイバ321に入力する高ピークパルス光は、実施例1と同様とした。

【0105】図18に示すように、本実施例の光源装置では、波長=1550 [μm] の付近で、出力スペクトルにおけるフラットなピーク部分の光周波数の変位の幅 ωf が約12000 [GHz] のSC光が生成されて出力された。すなわち、本実施例の光源装置では、約96nmの波長幅のSC光が出力された。

【0106】（第3実施形態）図19は、本発明の光源装置の第3実施形態の構成図である。図19に示すように、この装置は、（a）所定波長のパルス光を発生する光パルス発生器100と、（b）光パルス発生器100から出力されたパルス光を入力し、増幅して、高ピークパルス光を出力する光増幅器200と、（c）光増幅器200から出力された高ピークパルス光を入力し、伝搬することによってSC光を生成し、出力する光ファイバ

330とを備える。

【0107】図20は、光ファイバ330の長手方向（光の進行方向）における、波長分散の分布を示すグラフである。

【0108】本実施形態は、第1実施形態と比べて、光ファイバ320が、図20に示すように、光増幅器200からの高ピークパルス光の入射端での波長分散 D_{IN} が正の値であることは同様であるが、長手方向に沿って、波長分散 D が離散的に減少する点が異なる。

【0109】こうした光ファイバは、各区間の波長分散値 D_i を有する、各区間の長さ L_i の光ファイバを接続することによって得られる。

【0110】本実施形態の光源装置では、第1実施形態と同様に、光パルス発生器100が発生した短パルス光が光増幅器200に入力し、増幅され、高ピークパルス光となって出力され、光増幅器200から出力された高ピークパルス光が光ファイバ330に入力する。

【0111】以後、第1実施形態と同様にして、光ファイバ330に、高ピークパルス光が入力すると、光カー効果によって、光が感じる屈折率が変化し、光波の自己位相変調が発生する。この結果、光ファイバ330内での光パルス内に波長分布が発生する。光ファイバ330に入力した光は、波長分散が正の値である異常分散の領

$$\left(\frac{n_2}{A_{eff}}\right) \cdot P_{peak} > 0.03 \times 10^{-8} [1/W] \times 1.5 [W] = 0.045 \times 10^{-8} \dots (1)$$

の関係が成り立つことが必要である。

【0115】また、本実施形態では、第1実施形態と同様に、光ファイバ330が偏波保持ファイバであって偏波面保持特性を有することが好ましい。四光波混合については、相互作用する2つの光が同一の偏波面方向を有する場合に、最も良く四光波混合が発生するからである。

【0116】以下、本実施形態の実施例を説明する。

【0117】（実施例7）図21は、実施例7の光源装置の構成図である。図21に示すように、この装置は、

（a）所定波長のパルス光を発生する光パルス発生器100と、（b）光パルス発生器100から出力されたパルス光を入力し、増幅して、高ピークパルス光を出力する光増幅器200と、（c）光増幅器200から出力された高ピークパルス光を入力し、伝搬することによってSC光を生成し、出力する光ファイバ331とを備える。

【0118】光ファイバ331は、図21に示すように、各区間の長さ L_i が全て500[m]であり、

$D1 = 2.0 [ps/nm/km]$ 、
 $D2 = 1.4 [ps/nm/km]$ 、
 $D3 = 0.8 [ps/nm/km]$ 、
 $D4 = 0.2 [ps/nm/km]$ 、
 $D5 = 0.01 [ps/nm/km]$ 、
 $D6 = -0.2 [ps/nm/km]$ 、

域を進行するので、波長の長い方が群速度の遅い異常分散領域では、パルス圧縮が進む。分散が長手方向に減少しているとパルスは更に強制的に圧縮される為、ピークパワーは増大する。これが更に非線形効果を助長し、スペクトルの拡大につながっている。

【0112】圧縮された光パルスには、ある程度の波長範囲の波長の光が含まれているが、分散値が正から負へ変化する最中に、光カー効果による四光波混合の影響を強く受け、更に広い波長範囲の波長の光が発生する。こうして、SC光が生成される。

【0113】なお、本実施形態においても、第1実施形態と同様に、光ファイバの分散スロープの絶対値が小さいことが望ましく、また、分散スロープの長手方向に関する積分値の絶対値が小さい程、波長が異なる光での時間的な重なりが大きくなるので、四光波混合が発生しやすくなる。

【0114】更に、第1実施形態と同様に、自己位相変調や四光波混合の原因となる非線形光学効果であるカー効果は、非線形屈折率が大きい程、また、光強度密度が大きい程、発現しやすくなる。数10nm以上の波長幅とするには、非線形屈折率 n_2 と実効コア断面積 A_{eff} と高ピークパルス光のピークパワー P_{peak} との間に、

$$D_{SLOP} = 0.01 [ps/nm^2/km]$$

$$L = 3 [km]$$

$$n_2 = 2.0 \times 10^{-20} [m^2/W]$$

$$A_{eff} = 50 [\mu m^2]$$

の特性を有する。

【0119】図22は、本実施例で生成されたSC光のスペクトルを示すグラフである。なお、光ファイバ321に入力する高ピークパルス光は、実施例1と同様とした。

【0120】図22に示すように、本実施例の光源装置では、波長=1550[μm]の付近で、出力スペクトルにおけるフラットなピーク部分の光周波数の変位の幅 wf が約12000[GHz]のSC光が生成されて出力された。すなわち、本実施例の光源装置では、約96nmの波長幅のSC光が出力された。

【0121】（第4実施形態）図23は、本発明の光源装置の第4実施形態の構成図である。図23に示すように、この装置は、（a）所定波長のパルス光を発生する光パルス発生器100と、（b）光パルス発生器100から出力されたパルス光を入力し、増幅して、高ピークパルス光を出力する光増幅器200と、（c）光増幅器200から出力された高ピークパルス光を入力し、伝搬することによってSC光を生成し、出力する、光ファイバ341と光ファイバ342とからなる光ファイバ340とを備える。

【0122】図24は、光ファイバ340の長手方向（光の進行方向）における、波長分散の分布を示すグラフである。図24に示すように、(i) 光ファイバ341では、光増幅器200からの高ピークパルス光の入射端での波長分散 D_{IN} が正の値であり、長手方向に沿って、波長分散 D が線形に減少し、(ii) 光ファイバ342では、波長分散が小さな値を有する。

【0123】こうした光ファイバは、各区間の波長分散値 D_i を有する、各区間の長さ L_i の光ファイバを接続することによって得られる。

【0124】本実施形態の光源装置では、第1実施形態と同様に、光パルス発生器100が発生した短パルス光が光増幅器200に入力し、増幅され、高ピークパルス光となって出力され、光増幅器200から出力された高ピークパルス光が光ファイバ340の光ファイバ341に入力する。

【0125】以後、第1実施形態と同様にして、光ファイバ341に、高ピークパルス光が入力すると、光カー効果によって、光が感じる屈折率が変化し、光波の自己位相変調が発生する。この結果、光ファイバ341内での光パルス内に波長分布が発生する。光ファイバ341に入力した光は、波長分散が正の値である異常分散の領域を進行するので、波長の長い方が群速度の遅い異常分散領域では、パルス圧縮が進む。分散が長手方向に減少

$$\left(n_2 / A_{eff} \right) \cdot P_{peak} > 0.03 \times 10^{-8} [1/W] \times 1.5 [W] = 0.045 \times 10^{-8} \quad \dots (1)$$

の関係が成り立つことが必要である。

【0130】また、本実施形態では、第1実施形態と同様に、光ファイバ341が偏波保持ファイバであって偏波面保持特性を有することが好ましい。四光波混合については、相互作用する2つの光が同一の偏波面方向を有する場合に、最も良く四光波混合が発生するからである。

【0131】以下、本実施形態の実施例を説明する。

【0132】（実施例8）図25は、実施例8の光源装置の構成図である。図25に示すように、この装置は、(a) 所定波長のパルス光を発生する光パルス発生器100と、(b) 光パルス発生器100から出力されたパルス光を入力し、増幅して、高ピークパルス光を出力する光増幅器200と、(c) 光増幅器200から出力された高ピークパルス光を入力し、伝搬することによってSC光を生成して出力する、光ファイバ346と光ファイバ347とからなる光ファイバ345とを備える。

【0133】光ファイバ346は、図25に示すように、

$$\begin{aligned} D_{IN} &= 0.8 [ps/nm/km], \\ \Delta D &= 2 [ps/nm/km^2], \\ D_{SLOP} &= 0.01 [ps/nm^2/km], \\ L &= 0.5 [km] \\ n_2 &= 6.0 \times 10^{-20} [m^2/W] \end{aligned}$$

しているとパルスは更に強制的に圧縮される為、ピークパワーは増大する。これが更に非線形効果を助長し、スペクトルの拡大につながっている。

【0126】圧縮された光パルスには、ある程度の波長範囲の波長の光が含まれているが、分散値が正から負に変化する最中に、光カー効果による四光波混合の影響を強く受け、更に広い波長範囲の波長の光が発生する。こうして、SC光が生成される。

【0127】こうして生成されたSC光は、光ファイバ341から出力され、光ファイバ342に入力し、光ファイバ342を伝搬後に出力される。

【0128】なお、本実施形態においても、第1実施形態と同様に、光ファイバ341の分散スロープの絶対値が小さいことが望ましく、また、分散スロープの長手方向に関する積分値の絶対値が小さい程、波長が異なる光での時間的な重なりが大きくなるので、四光波混合が発生しやすくなる。

【0129】更に、第1実施形態と同様に、光ファイバ341での自己位相変調や四光波混合の原因となる非線形光学効果であるカー効果は、非線形屈折率 n_2 が大きい程、また、光強度密度 I が大きい程、発現しやすくなる。数10nm以上の波長幅とするには、非線形屈折率 n_2 と実効コア断面積 A_{eff} と高ピークパルス光のピークパワー P_{peak} との間に、

$$A_{eff} = 10 [\mu m^2]$$

の特性を有する。

【0134】また、光ファイバ347は、図25に示すように、

$$\begin{aligned} D_{IN} &\sim 0 [ps/nm/km], \\ \Delta D &\sim 0 [ps/nm/km^2], \\ D_{SLOP} &= 0.01 [ps/nm^2/km], \\ L &= 2.5 [km] \end{aligned}$$

$$n_2 = 6.0 \times 10^{-20} [m^2/W]$$

$$A_{eff} = 10 [\mu m^2]$$

の特性を有する。

【0135】図26は、本実施例で生成されたSC光のスペクトルを示すグラフである。なお、光ファイバ335に入力する高ピークパルス光は、実施例1と同様とした。

【0136】図26に示すように、本実施例の光源装置では、波長 $\lambda = 1550 [\mu m]$ の付近で、出力スペクトルにおけるフラットなピーク部分の光周波数の変位の幅 Δf が約10000 [GHz]のSC光が生成されて出力された。すなわち、本実施例の光源装置では、約80nmの波長幅のSC光が出力された。

【0137】なお、本実施例においては、第1実施形態に対する第2または第3実施形態と同様の変形が可能である。

【0138】（第5実施形態）図27は、本発明の光源装置の第5実施形態の構成図である。図27に示すように、この装置は、（a）所定波長のパルス光を発生する光パルス発生器100と、（b）光パルス発生器100から出力されたパルス光を入力し、増幅して、高ピークパルス光を出力する光増幅器200と、（c）光増幅器200から出力された高ピークパルス光を入力し、伝搬することによってSC光を生成し、出力する、光ファイバ351と光ファイバ352と光ファイバ353とからなる光ファイバ350とを備える。

【0139】図28は、光ファイバ350の長手方向（光の進行方向）における、波長分散の分布を示すグラフである。図28に示すように、（i）光ファイバ351では、波長分散Dが小さな値を有し、（ii）光ファイバ352では、高ピークパルス光の入射端での波長分散 D_{IN} が正の値であり、長手方向に沿って、波長分散Dが線形に減少し、（iii）光ファイバ353では、波長分散Dが小さな値を有する。

【0140】こうした光ファイバは、各区間の波長分散値 D_i を有する、各区間の長さ L_i の光ファイバを接続することによって得られる。

【0141】本実施形態の光源装置では、第1実施形態と同様に、光パルス発生器100が発生した短パルス光が光増幅器200に入力し、増幅され、高ピークパルス光となって出力され、光増幅器200から出力された高ピークパルス光が光ファイバ350の光ファイバ351に入力する。そして、光ファイバ351を伝搬後に光ファイバ352に入力する。

【0142】以後、第1実施形態と同様にして、光ファイバ352に、高ピークパルス光が入力すると、光カー

$$(n_2/A_{eff}) \cdot P_{peak} > 0.03 \times 10^{-8} [1/W] \times 1.5 [W] = 0.045 \times 10^{-8} \dots (1),$$

の関係が成り立つことが必要である。

【0147】また、本実施形態では、第1実施形態と同様に、光ファイバ351、352が偏波保持ファイバであって偏波面保持特性を有することが好ましい。四光波混合については、相互作用する2つの光が同一の偏波面方向を有する場合に、最も良く四光波混合が発生するからである。

【0148】以下、本実施形態の実施例を説明する。

【0149】（実施例9）図29は、実施例9の光源装置の構成図である。図29に示すように、この装置は、

（a）所定波長のパルス光を発生する光パルス発生器100と、（b）光パルス発生器100から出力されたパルス光を入力し、増幅して、高ピークパルス光を出力する光増幅器200と、（c）光増幅器200から出力された高ピークパルス光を入力し、伝搬することによってSC光を生成して出力する、光ファイバ356と光ファイバ357と光ファイバ358とからなる光ファイバ355とを備える。

効果によって、光が感じる屈折率が変化し、光波の自己位相変調が発生する。この結果、光ファイバ352内での光パルス内に波長分布が発生する。光ファイバ352に入力した光は、波長分散が正の値である異常分散の領域を進行するので、波長の長い方が群速度の遅い異常分散領域では、パルス圧縮が進む。分散が長手方向に減少しているとパルスは更に強制的に圧縮される為、ピークパワーは増大する。これが更に非線形効果を助長し、スペクトルの拡大につながっている。

【0143】圧縮された光パルスには、ある程度の波長範囲の波長の光が含まれているが、分散値が正から負へ変化する最中に、光カー効果による四光波混合の影響を強く受け、更に広い波長範囲の波長の光が発生する。こうして、SC光が生成される。

【0144】こうして生成されたSC光は、光ファイバ352から出力され、光ファイバ353に入力し、光ファイバ353を伝搬後に出力される。

【0145】なお、本実施形態においても、第1実施形態と同様に、光ファイバ352の分散スロープの絶対値が小さいことが望ましく、また、分散スロープの長手方向に関する積分値が略0であると、波長が異なる光での時間的な重なりがほぼ理想的に大きくなるので、四光波混合が発生しやすくなる。

【0146】更に、第1実施形態と同様に、光ファイバ352での自己位相変調や四光波混合の原因となる非線形光学効果であるカー効果は、非線形屈折率 n_2 が大きい程、また、光強度密度 I が大きい程、発現しやすくなる。数10nm以上の波長幅とするには、非線形屈折率 n_2 と実効コア断面積 A_{eff} と高ピークパルス光のピークパワー P_{peak} との間に、

【0150】光ファイバ356は、図29に示すように、

$$\begin{aligned} D_{IN} &= 0.2 [ps/nm/km], \\ \Delta D &\sim 0 [ps/nm/km^2], \\ D_{SLOP} &= 0.035 [ps/nm^2/km], \\ L &= 1 [km] \\ n_2 &= 5.0 \times 10^{-20} [m^2/W] \\ A_{eff} &= 13.85 [\mu m^2] \end{aligned}$$

の特性を有する。

【0151】また、光ファイバ357は、図29に示すように、

$$\begin{aligned} D_{IN} &= 0.8 [ps/nm/km], \\ \Delta D &= 1 [ps/nm/km^2], \\ D_{SLOP} &= 0.035 [ps/nm^2/km], \\ L &= 1 [km] \\ n_2 &= 5.0 \times 10^{-20} [m^2/W] \\ A_{eff} &= 13.85 [\mu m^2] \end{aligned}$$

の特性を有する。

【0152】また、光ファイバ358は、図29に示すように、

$$D_{IN}=0.2 \text{ [ps/nm/km]},$$

$$\Delta D \sim 0 \text{ [ps/nm/km}^2\text{]},$$

$$D_{SLOP}=0.035 \text{ [ps/nm}^2\text{/km]},$$

$$L=1 \text{ [km]}$$

$$n_2=5.0 \times 10^{-20} \text{ [m}^2\text{/W]}$$

$$A_{eff}=13.85 \text{ [\mu m}^2\text{]}$$

の特性を有する。

【0153】図30は、本実施例で生成されたSC光のスペクトルを示すグラフである。なお、光ファイバ355に入力する高ピークパルス光は、実施例1と同様とした。

【0154】図30に示すように、本実施例の光源装置では、波長 $=1550 \text{ [\mu m]}$ の付近で、出力スペクトルにおけるフラットなピーク部分の光周波数の変位の幅 wf が約 12000 [GHz] のSC光が生成されて出力された。すなわち、本実施例の光源装置では、約 96 nm の波長幅のSC光が出力された。

【0155】なお、本実施例においては、第1実施形態に対する第2または第3実施形態と同様の変形が可能である。

【0156】また、図31に示すように、上記実施形態のSC光用の光ファイバの所定位置 $L=L_0$ における零分散波長は、入射パルス光の波長 λ_0 に一致する。波長 λ_0 における光ファイバの入射端 $L=0$ の波長分散を D_{IN} とし、光ファイバはどの位置においても、 $\lambda_0 \pm 20 \text{ nm}$ の波長範囲において一定の分散スロープ D_{SLOP} を有する。

【0157】(第6実施形態) SC光を発生させるためには、必ずしも分散スロープ D_{SLOP} が $\lambda_0 \pm 20 \text{ nm}$ の波長範囲において一定である必要はなく、図32に示すように、波長分散 D は $\lambda_0 \pm 20 \text{ nm}$ の波長範囲において略一定(フラット($D_{SLOP} \approx 0$))であってもよい。この光ファイバは所定の長さ方向のある位置において、2つの零分散波長を $1530 \sim 1570 \text{ nm}$ の波長範囲内に有する。

【0158】図33は、図32の特性を有するSC光用光ファイバ360を用いた第6実施形態の光源装置を示す。図33に示すように、この装置は、(a)所定波長のパルス光を発生する光パルス発生器100と、(b)光パルス発生器100から出力されたパルス光を入力し、増幅して、高ピークパルス光を出力する光増幅器200と、(c)光増幅器200から出力された高ピークパルス光を入力し、伝搬することによってSC光を生成し、出力する光ファイバ360とを備える。光ファイバ360は、光増幅器200からの高ピークパルス光の入射端での波長分散 D_{IN} が正の値であり、長手方向に沿って、所定波長範囲 $\lambda_0 \pm 20 \text{ nm}$ 内の波長分散 D が線形に減少する。すなわち、長さ $L=0$ における波長分散 D

は D_{IN} であり、長さ $L=L_0$ における波長分散 D は零であり、長さ $L=L$ における波長分散 D は D_{OUT} である。

【0159】本実施形態の光源装置では、まず、光パルス発生器100が、所定波長の短パルス光を発生する。光パルス発生器100から出力された短パルス光は、光増幅器200に入力し、増幅され、高ピークパルス光となって出力される。そして、光増幅器200から出力された高ピークパルス光が光ファイバ360に入力する。

【0160】光ファイバ360に、高ピークパルス光が入力すると、光カー効果によって、光が感じる屈折率が変化し、光波の自己位相変調が発生する。この結果、光ファイバ360内での光パルス内に波長分布が発生する。光ファイバ360に入力した光は、波長分散 D が正の値である異常分散の領域を進行するので、波長の長い方が群速度の遅い異常分散領域では、パルス圧縮が進む。分散が長手方向に減少しているとパルスは更に強制的に圧縮される為、ピークパワーは増大する。これが更に非線形効果を助長し、スペクトルの拡大につながっている。

【0161】圧縮された光パルスには、ある程度の波長範囲の波長の光が含まれているが、分散値が正から負へ変化する最中に、光カー効果による四光波混合の影響を強く受け、更に広い波長範囲の波長の光が発生する。こうして、SC光が生成される。

【0162】図34は、このSC光ファイバ360から出射される出射光のスペクトルを示す。なお、光ファイバ360の長さ L は 1 km である。このSC光の波長スペクトルのピーク波長 λ_0 は 1550 nm であり、最大強度より -20 dB 低い強度レベルでの出射スペクトルが有する帯域幅をSC帯域と定義すると、SC帯域は 100 nm 以上である。また、ピーク波長 $\lambda_0 \pm 50 \text{ nm}$ の波長帯域内における出射光のスペクトルの平坦度、すなわち、この範囲内での出射光強度の最大値と最小値との差は 15 dB 以内である。

【0163】なお、この光ファイバ360に逆方向から同一の光パルスを入射した場合、図35に示すスペクトルが得られた。この場合、出射光のスペクトルの拡大は小さくSC帯域で 30 nm 以下である。勿論、出射光のスペクトルの平坦度、すなわち、出射光強度の最大値と最小値との差は 15 dB よりも大きい。なお、最も左側のピークは雑音光のスペクトルである。

【0164】また、図36に示す波長分散特性を有し、分散 D が長さ方向に一定である光ファイバに図34の光パルスと同一の光パルスを入力した場合、図37に示すようなスペクトルが得られた。この光ファイバの長さ L は 1 km であり、このスペクトルの平坦度は 15 dB よりも大きい。なお、最も左側のピークは雑音光のスペクトルである。

【0165】次に、SC光について説明する。図38

は、図31に示した波長分散特性を有し、分散Dが長さ方向Lに沿って線形に減少した図1に示す光ファイバ310からの出力光のスペクトルを示す。この光ファイバの分散スロープ D_{SLOP} は $0.03 [ps/nm^2/km]$ であり、分散Dは3から-2 $[ps/nm/km]$ まで減少する。本スペクトルの半値全幅は160nmであり、ピーク波長 $\lambda_0 \pm 50$ nmの波長帯域内における出射光のスペクトルの平坦度、すなわち、出射光強度の最大値と最小値との差は15 dB以内である。したがって、SC光は、ピーク波長 $\lambda_0 \pm 50$ nmの波長帯域内におけるスペクトルの平坦度が15 dB以内であって、半値全幅が少なくとも30 nm以上であり、好ましくは100 nm以上の光である。

【0166】この光ファイバ310に逆方向から光を入射した場合には、図39に示すスペクトルが得られた。これはSC光ではなく、この光のピーク波長 $\lambda_0 \pm 50$ nmの波長帯域内におけるスペクトルの平坦度は15 dBよりも大きく、半値全幅は30 nmよりも小さい。

【0167】図40は、この光ファイバ310の断面図である。この光ファイバ310はコア310xと、コア310xを取り囲む内側クラッド310ICと、内側クラッド310ICを取り囲む外側クラッド310OCとを備える。コア310の直径 D_C は、長さ方向（光の伝搬方向）に沿って線形に減少しており、内側クラッド310ICの直径 D_{IC} は長さ方向に沿って線形に減少しており、外側クラッド310OCの直径 D_{OC} は長さ方向に沿って線形に減少している。

【0168】非線形光学効果を生ぜしめるためには、光ファイバ310の1 kmあたりの外径 D_{OC} の長さ方向変動量（ D_{OC}/km ）は $2 \mu m/km$ 以上であることが好ましい。また、光ファイバ310の1 kmあたりの外径 D_{OC} に対するコアの直径 D_C の比率（ D_C/D_{OC} ）の長さ方向変動量（ $(D_C/D_{OC})/km$ ）は、 $0.5\%/km$ 以上であることが好ましい。なお、光ファイバ1 mあたりの平均外径が、長手方向に $2 \mu m$ 以上増加又は減少している部分を含むこととしてもよい。また、光ファイバの外径に対するコアの直径の比が長さ方向に0.005以上増加又は減少している部分を含むこととしてもよい。

【0169】図41は、図40に示した光ファイバの径方向の屈折率分布を示す。コア310xと外側クラッド310OCの比屈折率差 Δ^+ （ $= (n_C - n_{OC}) / n_{OC}$ ）は1.2%、内側クラッド310ICと外側クラッド310OCの比屈折率差 Δ^- （ $= (n_{IC} - n_{OC}) / n_{OC}$ ）は-0.6%である。なお、 n_C はコア310xの屈折率、 n_{IC} は内側クラッド310ICの屈折率、 n_{OC} は外側クラッドの屈折率である。また、非線形屈折率 n_2 は $3.8 \times 10^{-16} (cm^2/W)$ であり、モードフィールド径MFDは $5.2 \mu m$ である。

【0170】図42は、上記光源装置を用いた光源シス

テムを示す。光源100は、光ファイバリングレーザであり、1.55 μm 帯のパルス光を発生する。光源100と光ファイバ増幅器200とは光ファイバOP1で接続されている。光ファイバ増幅器200は、エルビウム添加ファイバ増幅器である。光ファイバ増幅器200から出射された1.55 μm 帯のパルス光は、光ファイバOP2を介して上記いずれかのSC光発生用光ファイバFに入力される。光ファイバFは、SC光を出力する。光ファイバFから出力されたSC光は光ファイバOP3を介して光分波器DMに入力される。SC光は、波長 λ_1 、 λ_2 及び λ_3 の成分を含む。光分波器DMは、筐体HSと、筐体HSに取り付けられた入力ポート P_{IN} 、第1出力ポートP1、第2出力ポートP2、第3出力ポートP3と、筐体HS内に配置された複数の光学フィルタF1、F2、F3、F4、F5を有する。光学フィルタF1、F2、F3、F4、F5はダイクロイックミラーである。なお、この光分波器DMは図示しない複数のレンズを内部に有する。

【0171】光学フィルタF1は波長 λ_1 の光を透過させ、波長 λ_2 及び λ_3 の光を反射する。光学フィルタF2は少なくとも波長 λ_2 及び λ_3 の光を反射する。光学フィルタF3は波長 λ_2 の光を透過させ、波長 λ_3 の光を反射する。光学フィルタF4は少なくとも波長 λ_3 の光を反射する。光学フィルタF1を通過した波長 λ_1 の光は、出力ポートP1に入力され、光ファイバOP4を介して出力される。光学フィルタF3を通過した波長 λ_2 の光は、出力ポートP2に入力され、光ファイバOP5を介して出力される。光学フィルタF4で反射された波長 λ_3 の光は出力ポートP3に入力され、光ファイバOP6を介して出力される。

【0172】上述の分散Dが光の進行方向に減少した光ファイバFは、SC光の生成のみではなく、アイドラ光の生成にも用いることができる。

【0173】図43は、アイドラ光を発生する光源装置を示す。この装置は、1.55 μm 帯の励起光（ポンプ光）を出射する光源100と、光ファイバOP1で接続され、励起光を増幅するエルビウム添加光ファイバ増幅器200と、励起光及び複数の信号光 λ_{10} 及び λ_{20} が光ファイバOP7を介して入力される光合波器WDMと、光合波器WDMで合波された光が入力される光ファイバOP8及び光ファイバFと、光ファイバFから出射された光が入力される光ファイバOP9とを有する。

【0174】なお、励起光 λ_p のピークパワーは、励起光 λ_p 自身が光ファイバFを通過することによってSC光とならない程度に弱い。光合波器WDMには、複数の信号光 λ_{10} 及び λ_{20} が光ファイバOP7を介して入力される。

【0175】図44は、光ファイバに入力される励起光 λ_p 、信号光 λ_{10} 、 λ_{20} 及び出射光 λ_{10}' 、 λ_{20}' と光強度との関係を示す。信号光 λ_{10} が光ファイバFに入力

されると、励起光の波長 λ_p に対して対称な位置の波長の光、アイドラ光 λ_{10}' ($=\lambda_p - (\lambda_{10} - \lambda_p)$) が光ファイバF内で発生し、出射される。信号光 λ_{20} が光ファイバFに入力されると、励起光の波長 λ_p に対して対称な位置の波長の光、アイドラ光 λ_{20}' ($=\lambda_p - (\lambda_{20} - \lambda_p)$) が光ファイバF内で発生し、出射される。すなわち、波長 λ_{10}' 、 λ_{20}' を有するアイドラ光は、波長 λ_{10} 、 λ_{20} を有する信号光と位相共役の関係にある。ここで、アイドラ光は四光波混合によって生成されていると考えられる。なお、光ファイバFの分散Dは長さ方向に沿って減少しており、したがって、分散スロープが正の場合、零分散波長 λ_0 が長さ方向に沿って増加する。励起光源100から出射される励起光の波長 λ_p は変えることができる。したがって、信号光 λ_{10} 、 λ_{20} の波長を変えずに、波長 λ_p を変えて、アイドラ光 λ_{10}' 、 λ_{20}' の波長を変えて、その時のアイドラ光のパワーが急激に小さくなることを避けることができる。

【0176】図45～図51は、励起光の波長 λ_p (nm) とアイドラ光 λ_{10}' (又は λ_{20}') の強度 (パワー) との関係を示すグラフである。励起光と信号光の入射パワーは各々10 dBmである。

【0177】図45は、励起光の波長 λ_p (nm) と信号光の波長 λ_{10} (nm) との波長差 $\Delta\lambda$ を5 nmとし、励起光の波長 λ_p を可変した場合の励起光の波長 λ_p (nm) とアイドラ光 λ_{10}' の強度 (dBm) との関係を示す。長さ1 kmの光ファイバFの零分散波長 λ_0 は長さ方向に沿って一定であり、1550 nmである。この場合、励起光の波長 λ_p が零分散波長 λ_0 に一致した場合に、高いアイドラ光 λ_{10}' の強度が得られているが、 λ_p が1539 nmや1561 nmの付近でアイドラ光の出力パワーが急激に小さくなる、効率の谷が現われていることが分かる。

【0178】図46は、励起光の波長 λ_p (nm) と信号光の波長 λ_{10} (nm) との波長差 $\Delta\lambda$ を5 nmとし、励起光の波長 λ_p を可変した場合の励起光の波長 λ_p (nm) とアイドラ光 λ_{10}' の強度 (dBm) との関係を示す。長さ1 kmの光ファイバFの零分散波長 λ_0 は長さ方向に沿って1545 nm～1555 nmの間で線形に変化する。この場合、前記と同様に励起光の波長 λ_p が零分散波長 λ_0 に一致した場合に、高いアイドラ光 λ_{10}' の強度が得られているが、 λ_p を変えた時のアイドラ光の出力パワーの変化が小さくなっている。

【0179】図47は、励起光の波長 λ_p (nm) と信号光の波長 λ_{10} (nm) との波長差 $\Delta\lambda$ を5 nmとし、励起光の波長 λ_p を可変した場合の励起光の波長 λ_p (nm) とアイドラ光 λ_{10}' の強度 (dBm) との関係を示す。長さ1 kmの光ファイバFの零分散波長 λ_0 は長さ方向に沿って1535 nm～1565 nmの間で線形に変化する。この場合、前記と同様に励起光の波長 λ_p が

零分散波長 λ_0 に一致した場合に、高いアイドラ光 λ_{10}' の強度が得られているが、 λ_p をアイドラ光の出力パワーの変化が前述よりも更に小さくなり、 λ_p 依存性の低い、すなわち、広帯域利用可能なファイバであることが分かる。

【0180】図48は、信号光の波長 λ_{10} (nm) を1560 nmとし、励起光の波長 λ_p を可変した場合の励起光の波長 λ_p (nm) とアイドラ光 λ_{10}' の強度 (dBm) との関係を示す。長さ1 kmの光ファイバFの零分散波長 λ_0 は長さ方向に沿って一定であり、1550 nmである。この場合、励起光の波長 λ_p が零分散波長 λ_0 に一致するか λ_0 に近い場合に、高いアイドラ光 λ_{10}' の強度が得られる。しかし、 λ_p が λ_0 よりも短くなるとアイドラ光の強度は急激に減少する。

【0181】図49は、信号光の波長 λ_{10} (nm) を1560 nmとし、励起光の波長 λ_p を可変した場合の励起光の波長 λ_p (nm) とアイドラ光 λ_{10}' の強度 (dBm) との関係を示す。長さ1 kmの光ファイバFの零分散波長 λ_0 は長さ方向に沿って1542 nm～1552 nmの間で線形に変化する。この場合、励起光の波長 λ_p が零分散波長 λ_0 の範囲内にある場合と、信号光の波長 λ_{10} から5 nm以内にある場合に、高いアイドラ光 λ_{10}' の強度が得られているが、前記条件と異なり、 λ_p が1550 nmより短くなってもアイドラ光の強度はそれほど減少していない。なお、零分散波長 λ_0 は長さ方向に5 nm以上線形に変化していれば高いアイドラ光 λ_{10}' の強度が得られることも確認している。

【0182】図50は、信号光の波長 λ_{10} (nm) を1560 nmとし、励起光の波長 λ_p を可変した場合の励起光の波長 λ_p (nm) とアイドラ光 λ_{10}' の強度 (dBm) との関係を示す。長さ1 kmの光ファイバFの零分散波長 λ_0 は長さ方向に沿って1545 nm～1555 nmの間で線形に変化する。この場合、1545 nm～1560 nmの波長範囲内において略均一なアイドラ光 λ_{10}' の強度が得られる。これは λ_p を可変にしてもアイドラ光の出力強度が変わらないことを意味し、アイドラ光の波長に任意性を持たせる、即ち、広帯域化が実現できることになる。

【0183】図51は、信号光の波長 λ_{10} (nm) を1560 nmとし、励起光の波長 λ_p を可変した場合の励起光の波長 λ_p (nm) とアイドラ光 λ_{10}' の強度 (dBm) との関係を示す。長さ1 kmの光ファイバFの零分散波長 λ_0 は長さ方向に沿って1547 nm～1557 nmの間で線形に変化する。この場合、この場合、1550 nm～1560 nmの波長範囲内において略均一なアイドラ光 λ_{10}' の強度が得られており、図50の場合と同様、広帯域化が可能である。

【0184】アイドラ光を効率良く発生させるためには、励起光の波長 λ_p が零分散波長 λ_0 と一致していることが望ましい。本光ファイバFの零分散波長 λ_0 は、長

手方向に異なっており、その範囲が励起光の波長 λ_p を含んでいる。励起光の波長 λ_p は、光ファイバFの長手方向の所定位置における所定の零分散波長 λ_0 と一致する。したがって、本光ファイバFは、励起光の波長 λ_p によらず、アイドラ光 λ_{10}' 、 λ_{20}' を効率的に発生させることができる。なお、アイドラ光を効率良く発生させるためには、光ファイバFの信号光の波長帯内の分散スロープ D_{SLOP} の絶対値が $0.04 [ps/nm^2/km]$ 以下であることが好ましい。また、信号光の波長帯内の分散DはファイバFの長さ方向に減少もしくは増加する領域を含んでいることが好ましい。

【0185】また、光ファイバFの非線形屈折率が n_2 、実効コア断面積が A_{eff} 、励起光 λ_p のピークパワーが P_{peak} の時、非線形光学効果を生ぜしめるためには、 $n_2 \geq 3.2 \times 10^{-20} (m^2/W)$ 、 $A_{eff} \leq 50 \times 10^{-12} (m^2)$ 、 $P_{peak} \geq 10 \times 10^{-3} (W)$ であることが好ましく、したがって、 $(n_2/A_{eff}) \times P_{peak} \geq 6.4 \times 10^{-12}$ であることが好ましい。また、非線形光学効果を生ぜしめるためには、 $n_2 \geq 4 \times 10^{-20} (m^2/W)$ であることがさらに好ましい。また、非線形光学効果を生ぜしめるためには、図40に示したコア310xと外側クラッド310ocの比屈折率差 Δ^+ ($= (n_c - n_{oc}) / n_{oc}$) は1.2%以上、内側クラッド310icと外側クラッド310ocの比屈折率差 Δ^+ ($= (n_{oc} - n_{ic}) / n_{oc}$) は-0.6%以下であることが好ましい。なお、本例では、外側クラッド310ocの屈折率 n_{oc} は石英の屈折率である。

【0186】本発明は、上記の実施形態や実施例に限定されるものではなく変形が可能である。例えば、波長分散の減少の態様は、指数関数的などであってもよいし、また、SC光生成用の光ファイバの具体的な態様は、上記の実施例の数値の態様には限定されない。

【0187】

【発明の効果】以上、詳細に説明した通り、本発明の光ファイバによれば、主要なスーパーコンティニウム光やアイドラ光等の非線形現象光の生成領域であって、光が進行すべき方向において、波長分散が増加することなく、少なくとも一部で波長分散が減少する分散減少領域を備えるので、高ピークパルス光が本発明の光ファイバの分散減少領域に入力すると、少なくとも入射当初から自己位相変調が、更に途中から四光波混合が、効率的に発生するので非線形現象光が効率的に生成される。

【図面の簡単な説明】

【図1】第1実施形態の光源装置の構成図。

【図2】第1実施形態で使用する光ファイバ310の説明図。

【図3】非線形屈折率と実効コア断面積との比の値とSC光の波長幅との関係を示すグラフ。

【図4】実施例1の光源装置の構成図。

【図5】実施例1の光源装置での高ピークパルス光と生

成されたSC光とのスペクトルを示すグラフ。

【図6】実施例2の光源装置の構成図。

【図7】実施例2の光源装置で生成されたSC光のスペクトルを示すグラフ。

【図8】実施例3の光源装置の構成図。

【図9】実施例3の光源装置で生成されたSC光のスペクトルを示すグラフ。

【図10】実施例4の光源装置の構成図。

【図11】実施例4の光源装置で生成されたSC光のスペクトルを示すグラフ。

【図12】実施例4の光源装置で生成されたSC光のスペクトルを示すグラフ。

【図13】実施例5の光源装置の構成図。

【図14】実施例5の光源装置で生成されたSC光のスペクトルを示すグラフ。

【図15】第2実施形態の光源装置の構成図。

【図16】第2実施形態で使用する光ファイバ320の構成図。

【図17】実施例6の光源装置の構成図。

【図18】実施例6の光源装置で生成されたSC光のスペクトルを示すグラフ。

【図19】第3実施形態の光源装置の構成図。

【図20】第3実施形態で使用する光ファイバ320の構成図。

【図21】実施例7の光源装置の構成図。

【図22】実施例7の光源装置で生成されたSC光のスペクトルを示すグラフ。

【図23】第4実施形態の光源装置の構成図。

【図24】第4実施形態で使用する光ファイバ320の構成図。

【図25】実施例8の光源装置の構成図。

【図26】実施例8の光源装置で生成されたSC光のスペクトルを示すグラフ。

【図27】第5実施形態の光源装置の構成図。

【図28】第5実施形態で使用する光ファイバ320の構成図。

【図29】実施例9の光源装置の構成図。

【図30】実施例9の光源装置で生成されたSC光のスペクトルを示すグラフ。

【図31】波長 λ (nm) と波長分散Dとの関係を示すグラフ。

【図32】波長 λ (nm) と波長分散Dとの関係を示すグラフ。

【図33】第6実施形態の光源装置の構成図。

【図34】波長 λ (nm) と光強度 (dBm) との関係を示すグラフ。

【図35】波長 λ (nm) と光強度 (dBm) との関係を示すグラフ。

【図36】波長 λ (nm) と波長分散 (ps/km/nm) との関係を示すグラフ。

【図37】波長 λ (nm)と光強度 (dBm)との関係を示すグラフ。

【図38】波長 λ (nm)と光強度 (dBm)との関係を示すグラフ。

【図39】波長 λ (nm)と光強度 (dBm)との関係を示すグラフ。

【図40】光ファイバの断面図。

【図41】光ファイバ直径に沿った屈折率分布を示す図。

【図42】SC光源装置を用いたシステムの構成図。

【図43】アイドラ光源装置を用いたシステムの構成図。

【図44】波長 λ (nm)と光強度との関係を示すグラフ。

【図45】波長 λ (nm)と光強度 (dBm)との関係を示すグラフ。

【図46】波長 λ (nm)と光強度 (dBm)との関係を示すグラフ。

【図47】波長 λ (nm)と光強度 (dBm)との関係を示すグラフ。

【図48】波長 λ (nm)と光強度 (dBm)との関係を示すグラフ。

【図49】波長 λ (nm)と光強度 (dBm)との関係を示すグラフ。

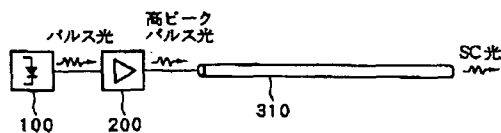
【図50】波長 λ (nm)と光強度 (dBm)との関係を示すグラフ。

【図51】波長 λ (nm)と光強度 (dBm)との関係を示すグラフ。

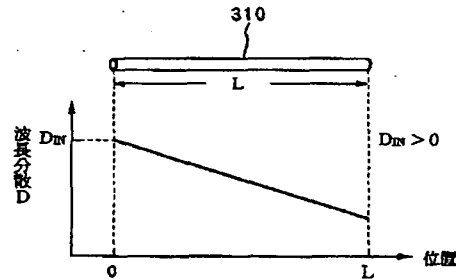
【符号の説明】

100…パルス発生器、200…光増幅器、310、320、330、340、350…光ファイバ、341、342、351、352、353…光ファイバ。

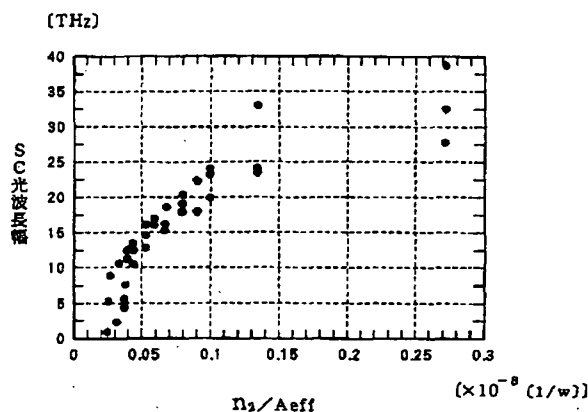
【図1】



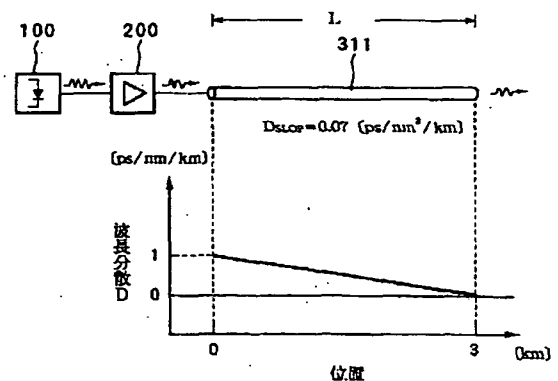
【図2】



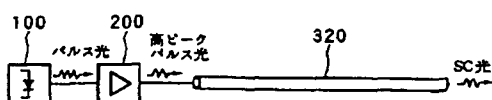
【図3】



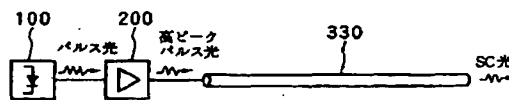
【図4】



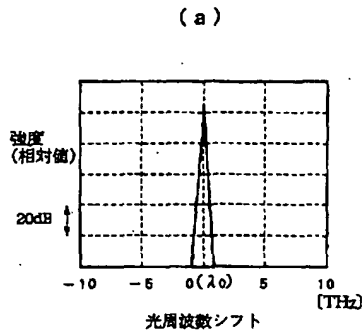
【図15】



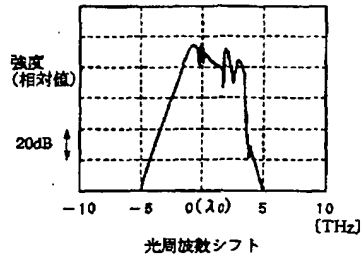
【図19】



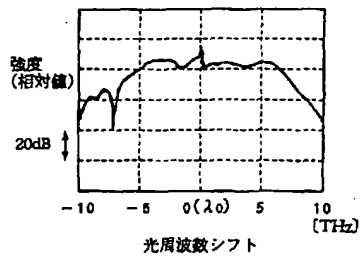
【図5】



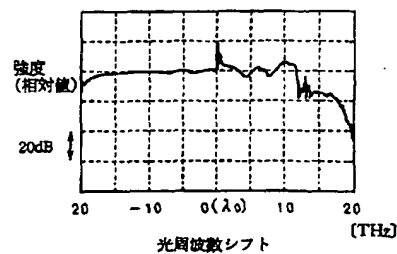
(b)



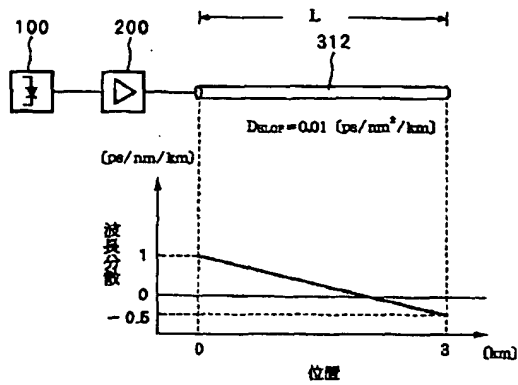
【図7】



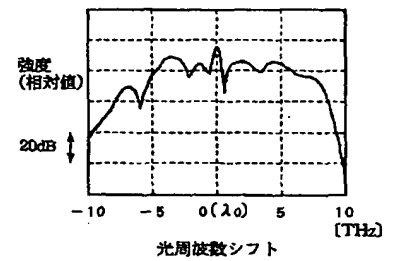
【図14】



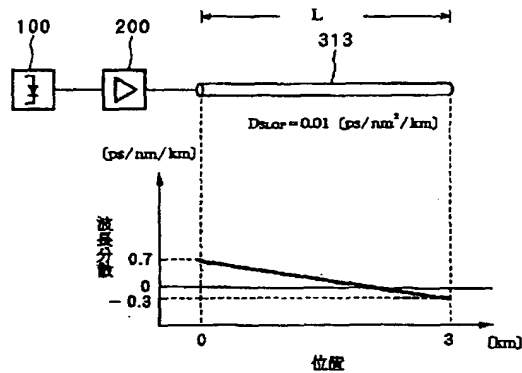
【図6】



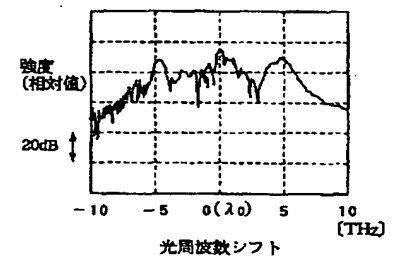
【図9】



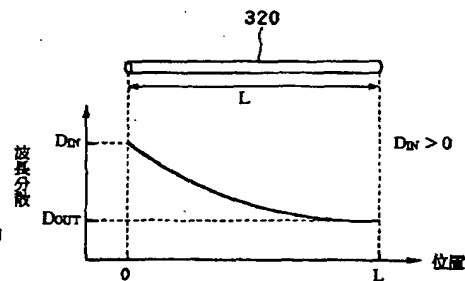
【図8】



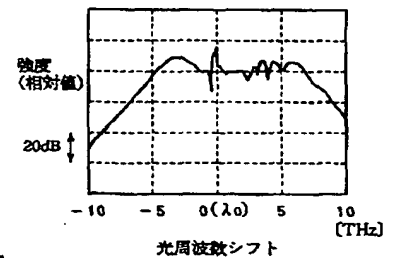
【図22】



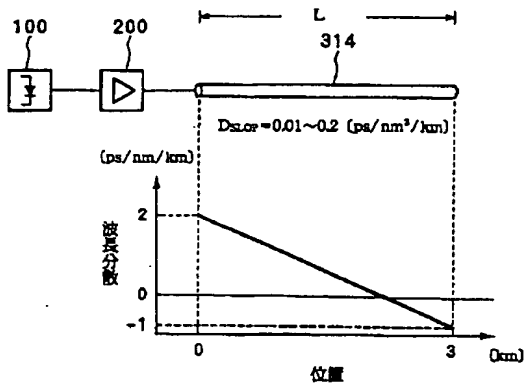
【図16】



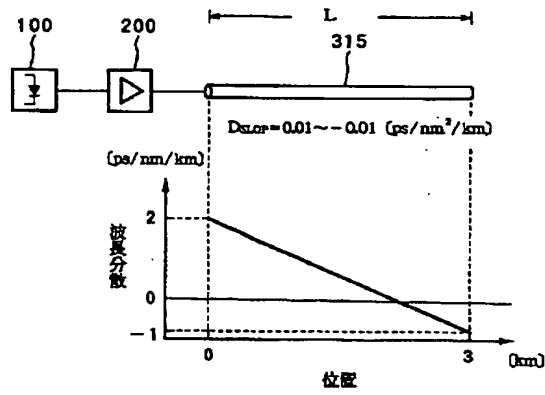
【図18】



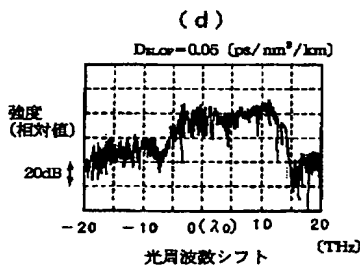
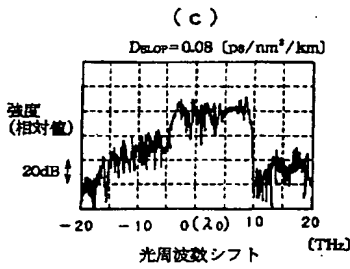
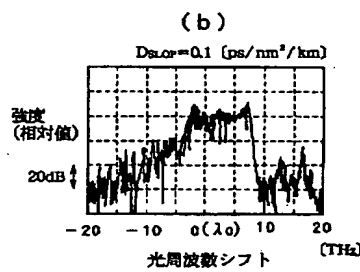
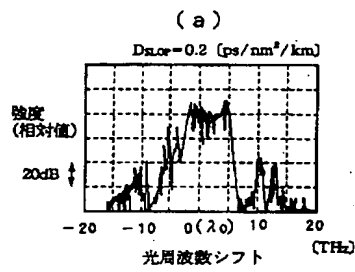
【図10】



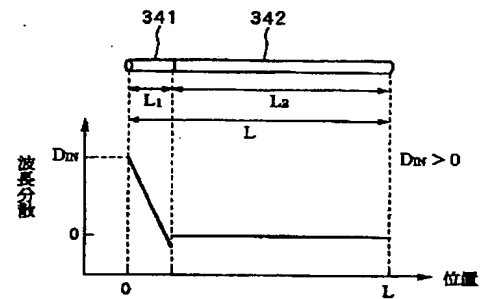
【図13】



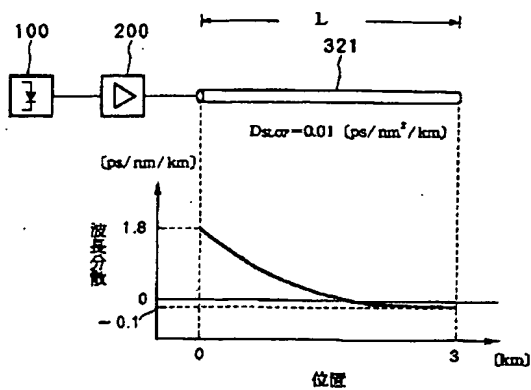
【図11】



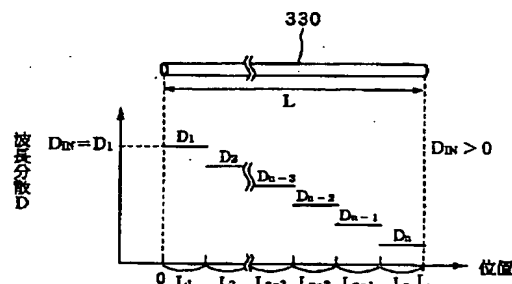
【図24】



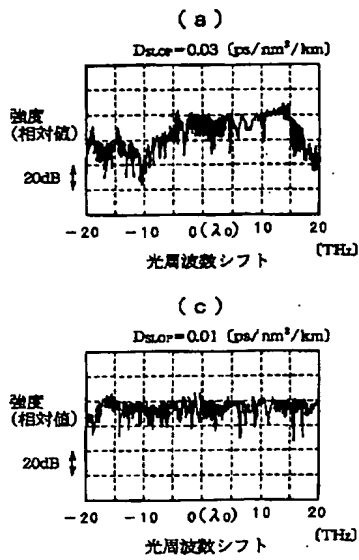
【図17】



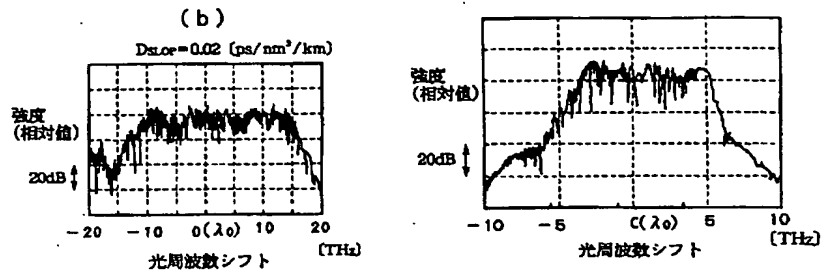
【図20】



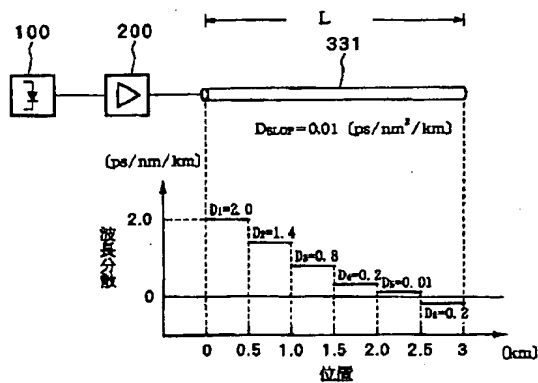
【図12】



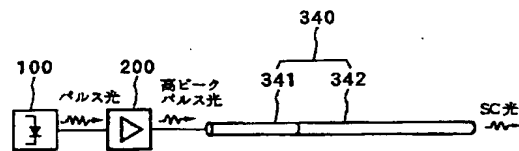
【図26】



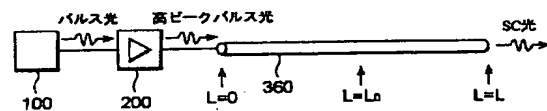
【図21】



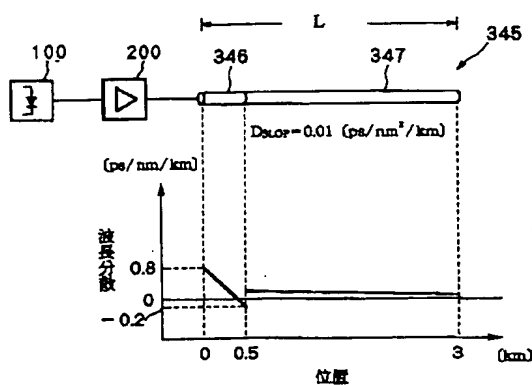
【図23】



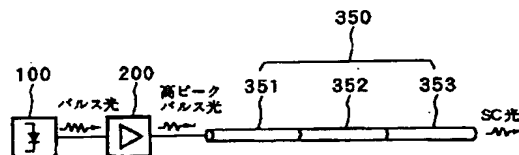
【図33】



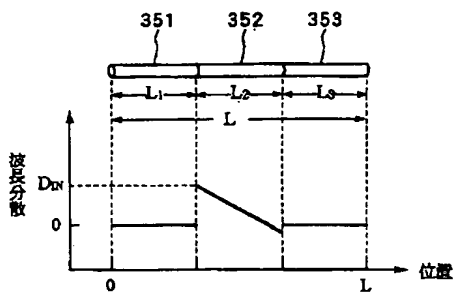
【図25】



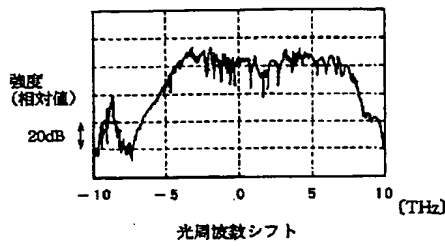
【図27】



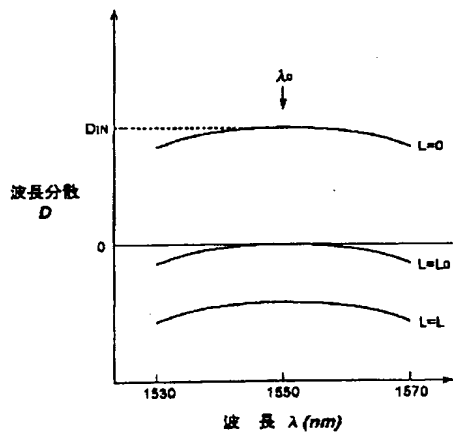
【図 28】



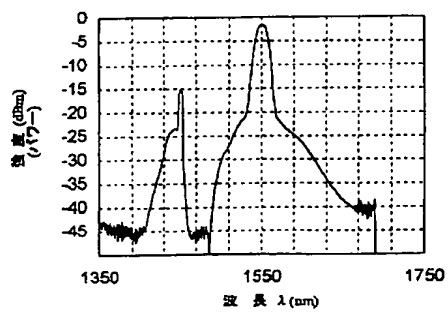
【図 30】



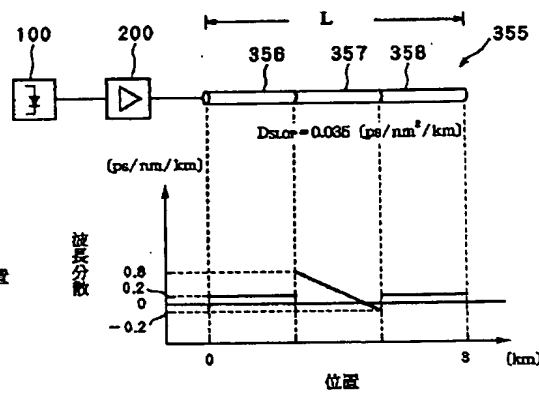
【図 32】



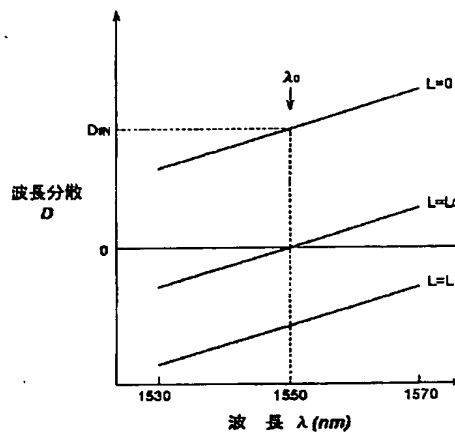
【図 35】



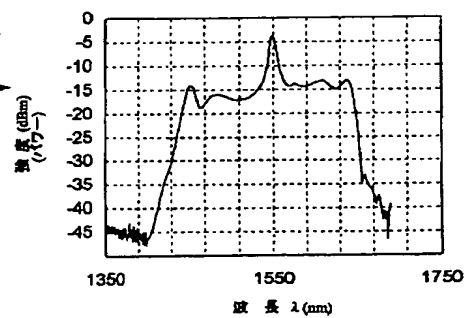
【図 29】



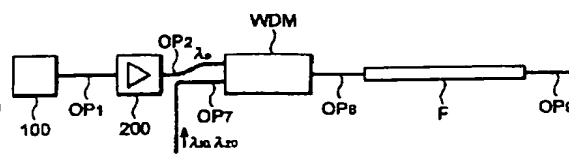
【図 31】



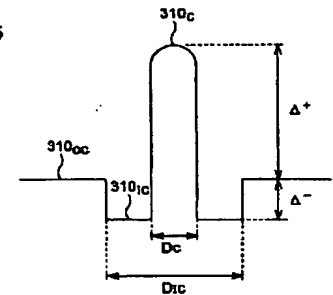
【図 34】



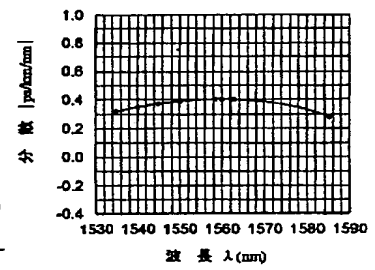
【図 43】



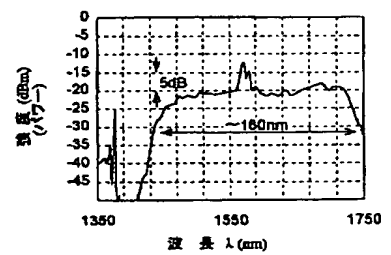
【図 41】



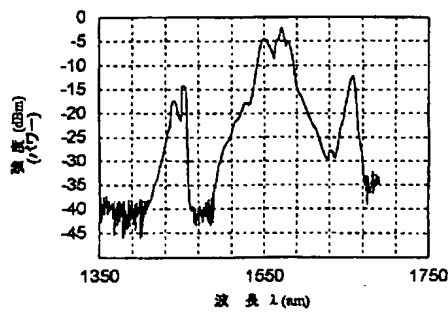
【図 36】



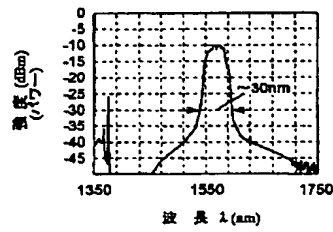
【図 38】



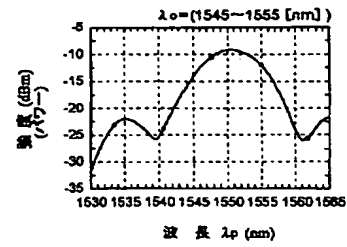
【図37】



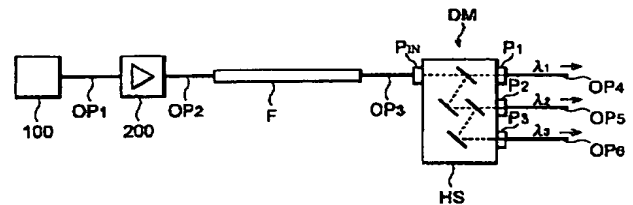
【図39】



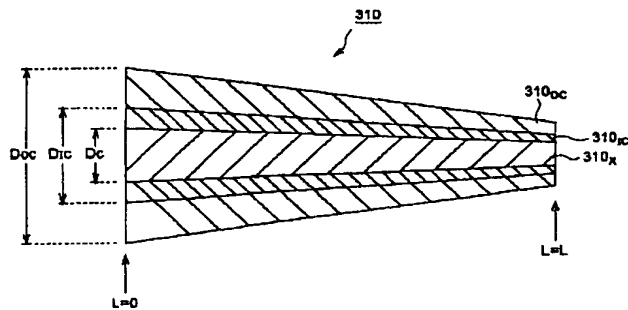
【図46】



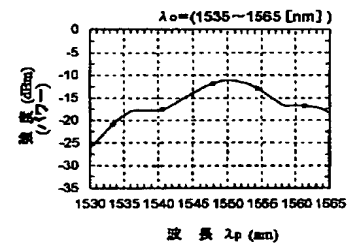
【図42】



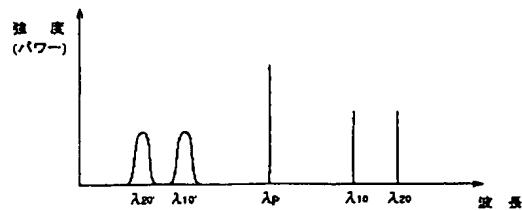
【図40】



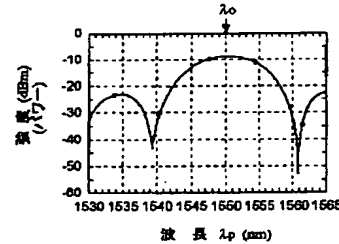
【図47】



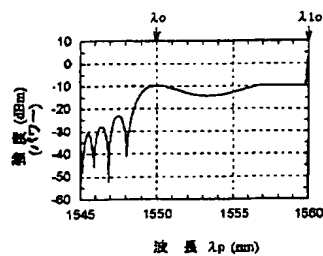
【図44】



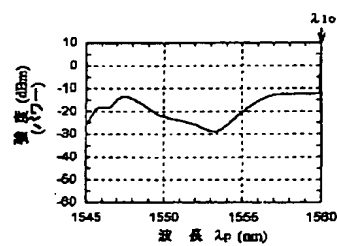
【図45】



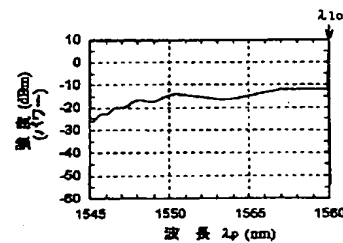
【図48】



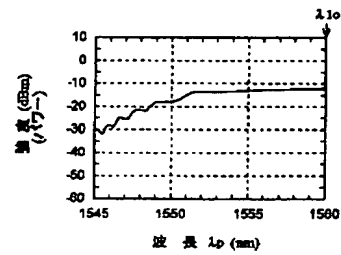
【図49】



【図50】



【図 5 1】



フロントページの続き

(72)発明者 西村 正幸
神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電
気工業株式会社横浜製作所内
(72)発明者 川西 悟基
東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本
電信電話株式会社内

(72)発明者 高良 秀彦
東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本
電信電話株式会社内
(72)発明者 森 邦彦
東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本
電信電話株式会社内

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 10-090737

(43)Date of publication of application : 10.04.1998

(51)Int.Cl.

G02F 1/35

(21)Application number : 09-198840

(71)Applicant : SUMITOMO ELECTRIC IND LTD
NIPPON TELEGR & TELEPH CORP
<NTT>

(22)Date of filing : 24.07.1997

(72)Inventor : OKUNO TOSHIAKI
ONISHI MASASHI
NISHIMURA MASAYUKI
KAWANISHI SATOKI
TAKARA HIDEHIKO
MORI KUNIIHIKO

(30)Priority

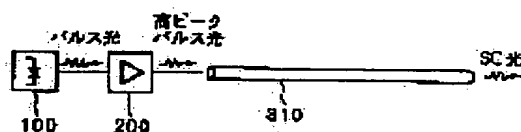
Priority number : 08195078 Priority date : 24.07.1996 Priority country : JP

(54) OPTICAL FIBER, LIGHT SOURCE DEVICE AND SYSTEM

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To efficiently generate non-linear phenomenon light such as supercontinuum(SC) light with wide wavelength width and with high flatness in the wavelength width and idler light etc., by providing a dispersion reduction area that wavelength dispersion is reduced from a positive value according to advance of pulse light in the main generation area of the non-linear phenomenon light.

SOLUTION: In an optical fiber 310, the wavelength dispersion DIN on an incident end of high peak pulse light from a light amplifier 200 is the positive value, and the wavelength dispersion D is reduced linearly along the longitudinal direction. When the high peak pulse light is inputted to the optical fiber 310, since the inputted light advances on the area of abnormal dispersion that the wavelength dispersion is the positive value, the more pulse compression is advanced in the abnormal dispersion area with a late group speed the more the wavelength is longer. Although the light of the wavelengths of a wavelength range of a certain degree are incorporated in a compressed light pulse, the light are affected strongly by an effect of four light waves mixture due to an optical Kerr effect while a dispersion value is changed from the positive to the negative, and the light with the wavelengths of the further wider wavelength range are generated. In such a manner, the SC light is generated.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 16.04.2001

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

* NOTICES *

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. **** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

CLAIMS

[Claim(s)]

[Claim 1] It is the optical fiber characterized by being the optical fiber which outputs nonlinear-phenomenon light according to the pulsed light of predetermined wavelength inputted, and equipping the main generation field of the aforementioned nonlinear-phenomenon light with the distributed reduction field where a wavelength dispersion decreases from a positive value with advance of the aforementioned pulsed light.

[Claim 2] The aforementioned nonlinear-phenomenon light is an optical fiber according to claim 1 characterized by being super contest tee NIUMU light.

[Claim 3] The optical fiber which is an optical fiber which inputs the pump light of different wavelength from signal light, and generates nonlinear-phenomenon light in a predetermined wavelength field, and the absolute value of a distributed slope is below 0.04 (ps/nm²/km), and is characterized by increasing in number or decreasing zero dispersive-wave length by 5nm or more to the longitudinal direction of an optical fiber with a signal light wave length band.

[Claim 4] The optical fiber according to claim 1 or 3 characterized by a wavelength dispersion decreasing from a positive value to a negative value with advance of the aforementioned pulsed light in the aforementioned distributed reduction field.

[Claim 5] The aforementioned distributed reduction field is an optical fiber according to claim 1 or 3 characterized by having the zero dispersive-wave length of 1.5-micrometer band in a predetermined position.

[Claim 6] The aforementioned distributed reduction field is an optical fiber according to claim 1 or 3 characterized by including a polarization maintenance fiber.

[Claim 7] The optical fiber according to claim 1 characterized by the average outer diameter per 1m of aforementioned optical fibers containing in a longitudinal direction the portion which is increasing or decreasing by 2 micrometers or more.

[Claim 8] The optical fiber according to claim 1 characterized by including the portion to which the ratio of the diameter of a core to the outer diameter of the aforementioned optical fiber is increasing or decreasing or more by 0.005 in the length direction.

[Claim 9] It is the optical fiber according to claim 1 to which the aforementioned distributed reduction field has the clad surrounding a core and the aforementioned core, and the diameter of the aforementioned core and the diameter of the aforementioned clad are characterized by including the portion which is increasing or decreasing along with both longitudinal directions.

[Claim 10] the ratio to the quartz of the aforementioned core -- a ratio [as opposed to / a refractive-index difference is +1.2% or more, and / the quartz near / aforementioned / the core of the aforementioned clad] -- the optical fiber according to claim 6, 7, or 8 characterized by a refractive-index difference being -0.6% or less

[Claim 11] The distributed slope in the aforementioned predetermined wavelength field of the aforementioned distributed reduction field is an optical fiber according to claim 1 or 3 characterized by being below 0.1 (ps/nm²/km) more than -0.1 (ps/nm²/km).

[Claim 12] The absolute value of the distributed slope in the aforementioned predetermined wavelength field of the aforementioned distributed reduction field is an optical fiber according to claim 1 characterized by being below 0.04 (ps/nm²/km).

[Claim 13] The effective core cross section A_{eff} is the peak power P_{peak} of the aforementioned pulsed light, the nonlinear refractive index n_2 of the aforementioned distributed reduction field, and an optical fiber according to claim 1 or 3 characterized by filling the relation of $-(n_2/A_{\text{eff}}) P_{\text{peak}} > 4.5 \times 10^{-10}$.

[Claim 14] The effective core cross section A_{eff} is the peak power P_{peak} of the aforementioned pulsed light, the nonlinear refractive index n_2 of the aforementioned distributed reduction field, and an optical fiber according to claim 1 characterized by filling the relation of $-(n_2/A_{\text{eff}}) P_{\text{peak}} > 6.4 \times 10^{-12}$.

[Claim 15] The optical fiber according to claim 1 or 3 to which the aforementioned nonlinear refractive index n_2 is characterized by being more than 4×10^{-20} (m^2/W).

[Claim 16] Light equipment characterized by having the aforementioned optical fiber according to claim 1 and the light source which combines with the end of the aforementioned optical fiber optically, and carries out outgoing radiation of the aforementioned pulsed light.

[Claim 17] The light source system characterized by having the aforementioned optical fiber according to claim 1, the light source which combines with the end of the aforementioned optical fiber optically, and carries out outgoing radiation of the aforementioned pulsed light, and the optical separator optically combined with the other end of the aforementioned optical fiber.

[Claim 18] A light source system equipped with the aforementioned optical fiber according to claim 1, the light source which combines with the end of the aforementioned optical fiber optically, and carries out outgoing radiation of the aforementioned pulsed light, and the optical multiplexing machine which combines two or more signal light with the aforementioned end of the aforementioned fiber with the aforementioned pulsed light.

[Claim 19] The light source which generates excitation light. The optical fiber which the aforementioned excitation light and signal light are inputted, and carries out outgoing radiation of the nonlinear-phenomenon light. It is light equipment equipped with the above, and the absolute value of the distributed slope of the aforementioned optical fiber in the wavelength range of the aforementioned signal light is below 0.04 ($\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$), and the zero dispersive-wave length of the aforementioned optical fiber is characterized by changing along with the longitudinal direction of the aforementioned optical fiber by predetermined wavelength within the limits containing the wavelength of the aforementioned excitation light.

[Claim 20] The aforementioned nonlinear-phenomenon light is light equipment according to claim 19 characterized by being idler light.

[Claim 21] The wavelength of the aforementioned excitation light is light equipment according to claim 19 characterized by adjustable being possible.

[Translation done.]

* NOTICES *

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.**** shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

DETAILED DESCRIPTION

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[The technical field to which invention belongs] this invention relates to the optical fiber and light equipment which carry out outgoing radiation of the nonlinear-phenomenon light, such as super contest tee NIUMU light generated based on the nonlinear optical effect by the incidence of the optical pulse of high peak power, or idler light.

[0002]

[Description of the Prior Art] With development of optical-communication technology, it is short pulsed light and the latus light source of wavelength width of face is expected. as technology about such the light source, it is the latus pulsed light of wavelength width of face when carrying out incidence of the optical pulse of high peak power into an optical nonlinear medium -- generating of super contest tee NIUMU (SC) light attracts attention

[0003] Used the optical fiber (it is also henceforth called SC fiber) as a nonlinear medium in recent years. The experiment of generation of SC light is made and announced (" : besides woods 1992 electronic-intelligence communication society autumn convention C- 255, pp4- 277 (henceforth)). that it is called the conventional example 1" and "-- woods B-920 and pp 4-161 (henceforth) others -- : -- the 1993 electronic-intelligence communication society autumn convention It is called the conventional example" 2, "T.Morioka et al.:ELECTRONICS LETTERS, 7th July 1994, Vol.30, No.14, pp 1166-1168 (henceforth) It is called the conventional example" 3, "T.Morioka et al.:OFC'96, PD21, 1996 (henceforth) T. that it is called the conventional example 4", "Morioka et al.:ELECTRONICS LETTERS, 22nd June 1995, Vol.31, No.13" (it is henceforth called the conventional example 5), etc.

[0004] the peak power to which the conventional example 1 has main wavelength to a zero distribution field in the optical fiber from which a wavelength dispersion (a normal dispersion or anomalous dispersion) and length differ -- several 10 -- the experimental result of generating of SC light at the time of carrying out incidence of the picosecond pulse light which is W is indicated And it is indicating that the band of SC light is larger than the case where the direction in case an optical fiber has anomalous scattering has a normal dispersion.

[0005] The conventional example 2 is indicating the experimental result of generating of SC light at the time of carrying out incidence of the pulsed light from semiconductor laser (LD) to the optical fiber from which a wavelength dispersion (a distributed flat or distributed shift) and length differ. And it is indicating that the band of SC light is larger than the case where the direction in case an optical fiber has distributed flat type distribution has distributed shift type distribution.

[0006] The conventional example 3 is indicating generating of SC light when length sets to 3 [km], wavelength sets to 1541nm and a distributed value uses the distributed shift fiber of 0.1 [ps/nm/km] as an optical fiber for SC light.

[0007] The conventional example 4 and the conventional example 5 are indicating the spectrum in the incidence edge and outgoing radiation edge at the time of using a distributed shift fiber as an optical fiber for SC light.

[0008]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] In the conventional examples 1-5, although indicated

about SC light, it is not indicated about the optical fiber for generating SC light. this invention is made in view of the above, wavelength width of face is wide and the flat nature in wavelength width of face aims at offering a suitable optical fiber and suitable light equipment generating efficiently nonlinear-phenomenon light, such as high SC light and idler light.

[0009]

[Means for Solving the Problem] The optical fiber concerning this invention is an optical fiber which outputs nonlinear-phenomenon light according to the pulsed light of predetermined wavelength inputted, and the main generation field of nonlinear-phenomenon light is characterized by having the distributed reduction field where a wavelength dispersion decreases from a positive value with advance of pulsed light. Nonlinear-phenomenon light is a light generated by nonlinear phenomena, such as super contest tee NIUMU light or idler light. When an optical fiber is equipped with the above-mentioned distributed reduction field, such nonlinear-phenomenon light occurs in a wide band efficiently.

[0010] Moreover, when the wavelength dispersion is decreasing from a positive value to a negative value in connection with the travelling direction of pulsed light in a distributed reduction field, super contest tee NIUMU light occurs still more efficiently. The pump light of different wavelength from signal light is inputted, it is the optical fiber which generates nonlinear-phenomenon light in a predetermined wavelength field, and when the absolute value of a distributed slope is below 0.04 (ps/nm²/km) and zero dispersive-wave length is increased in number or decreased by 5nm or more to the longitudinal direction of an optical fiber with a signal light wave length band, nonlinear-phenomenon light, such as idler light, occurs efficiently.

[0011] As for this distributed reduction field, it is desirable to have the zero dispersive-wave length of 1.5-micrometer band in a predetermined position. In this case, if signal light is simultaneously introduced into the aforementioned optical fiber by making pulsed light inputted into excitation light, nonlinear-phenomenon light, such as idler light, can be generated efficiently.

[0012] It is desirable to include a polarization maintenance fiber, it becomes easy to generate the 4 light-wave mixture for nonlinear-phenomenon light occurring, and a distributed reduction field can generate nonlinear-phenomenon light still more efficiently.

[0013] Moreover, when the average outer diameter per 1m of optical fibers contains in a longitudinal direction the portion which is increasing or decreasing by 2 micrometers or more, or when the ratio of the diameter of a core to the outer diameter of an optical fiber contains the portion which is increasing or decreasing or more by 0.005 in the length direction, nonlinear-phenomenon light can be generated efficiently.

[0014] furthermore, a ratio [as opposed to / for generating of nonlinear-phenomenon light, a distributed reduction field has the clad surrounding a core and a core, and as for the diameter of a core, and the diameter of clad, it is desirable to include the portion which is decreasing along with both longitudinal directions and / the quartz of a core] -- a ratio [as opposed to / a refractive-index difference is +1.2% or more, and / the quartz near the core of clad] -- as for a refractive-index difference, it is desirable that it is -

[0015] Moreover, in order to generate nonlinear-phenomenon light, it is [more than -0.1 (ps/nm²/km)] desirable [the distributed slope in the predetermined wavelength field of a distributed reduction field] that it is below 0.1 (ps/nm²/km).

[0016] When the absolute value of the distributed slope in the predetermined wavelength field of this distributed reduction field is below 0.04 (ps/nm²/km), nonlinear-phenomenon light, such as idler light, can be generated efficiently.

[0017] In order to generate nonlinear-phenomenon light, as for the peak power P_{peak} of the aforementioned pulsed light, the nonlinear refractive index n_2 of a distributed reduction field, and the effective core cross section A_{eff} , it is desirable to fill the relation of $-(n_2/A_{\text{eff}}) P_{\text{peak}} > 4.5 \times 10^{-10}$.

[0018] Moreover, as for the peak power P_{peak} of pulsed light, the nonlinear refractive index n_2 of a distributed reduction field, and the effective core cross section A_{eff} , it is still more desirable to fill the relation of $-(n_2/A_{\text{eff}}) P_{\text{peak}} > 6.4 \times 10^{-12}$.

[0019] In this case, if especially the nonlinear refractive index n_2 is more than 4×10^{-20} (m²/W), it can generate nonlinear-phenomenon light still more suitably.

[0020] Moreover, the light equipment of this invention is characterized by having the aforementioned optical fiber and the light source which combines with the end of an optical fiber optically and carries out outgoing radiation of the pulsed light.

[0021] Moreover, the light source system of this invention is characterized by having the aforementioned optical fiber, the light source which combines with the end of an optical fiber optically and carries out outgoing radiation of the pulsed light, and the optical separator optically combined with the other end of an optical fiber. Although incidence of the pulsed light by which outgoing radiation was carried out from the light source is carried out to an optical fiber and it is outputted as nonlinear-phenomenon light, such as super contest tee NIUMU light of the latus wavelength range, it dissociates for every wavelength by the optical separator, and this is applicable to wavelength multiplex communication.

[0022] Moreover, the light source system of this invention is characterized by having the aforementioned optical fiber, the light source which combines with the end of an optical fiber optically and carries out outgoing radiation of the pulsed light, and the optical multiplexing machine which combines two or more signal light with the end of a fiber with pulsed light. Since two or more signal light is inputted into an optical fiber by the optical multiplexing machine with excitation light, they can generate two or more idler light.

[0023] Moreover, it sets to light equipment equipped with the light source which generates excitation light, and the optical fiber which excitation light and signal light are inputted and carries out outgoing radiation of the nonlinear-phenomenon light. The absolute value of the distributed slope of the optical fiber in the wavelength range of signal light is below 0.04 (ps/nm²/km). The zero dispersive-wave length of an optical fiber can generate nonlinear-phenomenon light, such as idler light, when changing along with the longitudinal direction of an optical fiber by predetermined wavelength within the limits containing the wavelength of excitation light. Since this can be made in agreement with zero dispersive-wave length at one point of the optical fibers irrespective of the value of the wavelength of excitation light, nonlinear-phenomenon light, such as idler light, can make it generate efficiently in this invention. Especially, when adjustable is possible for the wavelength of excitation light, since idler light has the wavelength of a symmetric position to signal light, it can change the wavelength of idler light by changing the wavelength of excitation light, without changing the wavelength of signal light.

[0024] In addition, the principle above-mentioned phenomenon generating is considered to be explained below. That is, in the above-mentioned optical fiber, if high peak pulsed light inputs into a distributed reduction field, by the optical Kerr effect, the refractive index which light senses will change and the self-phase modulation of a light wave will occur. Consequently, wavelength is long in the standup of pulsed light to the wavelength distribution of the light within an optical fiber, and a negative chirp with short wavelength occurs in falling of pulsed light in it. Since the light inputted into the distributed reduction field advances the field of anomalous scattering at least at the beginning, in the anomalous-dispersion field of group velocity where the one where wavelength is longer is late, generating and pulse compression of a wavelength distribution advance simultaneously.

[0025] If distribution is decreasing to the longitudinal direction, although compression will be performed still more efficiently and pulse peak power will become large then, a nonlinear phenomenon becomes easier to happen and the breadth of a spectrum occurs.

[0026] By the self-phase modulation of the optical Kerr effect, 4 light-wave mixture, etc., the light of the wavelength of the latus wavelength range can be obtained in this way, and it becomes super contest tee NIUMU light. Although the light of different wavelength exists in abbreviation same time and an abbreviation same position and needs to interact in order to promote efficient 4 light-wave mixture, in order to perform such an interaction efficiently, it is desirable for the difference of the group velocity between the light of different wavelength to be small.

[0027] In the direction in which light should advance, it starts in anomalous scattering and super contest tee NIUMU light is mainly generated from self-phase modulation, 4 light-wave mixture, etc. in the distributed reduction field which is the principal part of super contest tee NIUMU light generating by the optical fiber equipped with the distributed reduction field where a wavelength dispersion decreases.

[0028] And since a kind of scan of zero dispersive-wave length will be performed near the wavelength of the light which 4 light-wave mixture generates when a wavelength dispersion changes by the travelling direction of light, it becomes easy to generate 4 light-wave mixture with the light of various wavelength, and the light of the wavelength of the latus wavelength range is generated. Consequently, the super contest tee NIUMU light in the latus wavelength range occurs.

[0029] In addition, as for portions other than a distributed reduction field, it is desirable that the absolute value of distribution in the wavelength range of super contest tee NIUMU light is small and to use the small distributed flat fiber of the absolute value of a distributed slope from the point that the interaction length of the light of each wavelength contained in 4 light-wave mixture and super contest tee NIUMU light becomes long.

[0030] The composition that have two or more optical fibers from which a wavelength dispersion differs, and cascade connection of two or more of these optical fibers is carried out to the longitudinal direction is sufficient as a distributed reduction field.

[0031] Since cascade connection of two or more optical fibers from which a wavelength dispersion differs is carried out to a longitudinal direction and an optical fiber is constituted, this optical fiber can be manufactured easily.

[0032] in addition, the above-mentioned optical fiber — setting — a (i) positive value — ** the 1st optical fiber which has the average wavelength-dispersion value of **** 1, and (ii) — while having the 2nd average wavelength-dispersion value smaller than the 1st average wavelength-dispersion value, it is good also considering having the 2nd optical fiber to which the end face which should carry out incidence of the light to the end face which should carry out outgoing radiation of the light of the 1st optical fiber was connected as a feature Although reduction change of the wavelength dispersion in the travelling direction of light becomes dispersed in this optical fiber, it acts like [generating / of self-phase modulation, 4 light-wave mixture, etc.] the above. In addition, in this optical fiber, on condition that it considers as the composition which a wavelength dispersion does not increase by the travelling direction of light, you may carry out cascade connection of the optical fiber which has a still more suitable wavelength-dispersion value to the downstream of the 2nd optical fiber.

[0033] When the distributed slope about the wavelength in the generation wavelength region of super contest tee NIUMU light in each position of a distributed reduction field is -0.1

$[\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}] -0.1[\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}]$, the difference of distribution between the wavelength in each position of a distributed reduction field is small. Therefore, the optical Kerr effect which is a nonlinear optical effect can be efficiently discovered, and can generate the super contest tee NIUMU light of the latus wavelength range.

[0034] Moreover, from a viewpoint of generation of the super contest tee NIUMU light of the latus wavelength range, the absolute value of a distributed slope is so desirable that it is small. For example, it is desirable to use the distributed flat fiber with which a distributed slope value becomes $-0.04[\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}] -0.04[\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}]$.

[0035] In addition, if an absolute value is a problem and the absolute value is the same, even if the signs of a value differ about the distributed slope, the contribution to the wavelength width of face of super contest tee NIUMU light seldom changes.

[0036] In a distributed reduction field, towards light advancing, a distributed slope from a positive value to a negative value When it changes from a negative value to a positive value and a group-delay difference is reduced rather than the case where a distributed slope is fixed, the distributed slope in a distributed reduction field or by making it change to the grade from which polarity changes by the travelling direction of light Rather than the case where a distributed slope is fixed, the group-delay difference in a distributed reduction field can be reduced. Consequently, the lap in the time domain of the light of each wavelength can increase, and super contest tee NIUMU light can be generated efficiently.

[0037] It has the following advantages, when a distributed reduction field has zero dispersive-wave length on 1.5-micrometer band. In recent years, as a light which makes an optical fiber spread, the light of the wavelength of 1.5 micrometer band of lows is used abundantly for transmission loss in use of the optical fiber which makes quartz glass the main material.

Therefore, the optical fiber which has zero dispersive-wave length is used for 1.5-micrometer band as an optical fiber from a viewpoint of distorted prevention of the wave by the wavelength dispersion. In this case, since it has zero dispersive-wave length on 1.5-micrometer band, about the component of the super contest tee NIUMU light which has the wavelength of 1.5-micrometer band, the influence of a wavelength dispersion is reduced and the output of a suitable super contest tee NIUMU light can be obtained. In addition, when generating SC light in 1.3-micrometer band, it is suitable to set zero dispersive-wave length as the wavelength of 1.3-micrometer band.

[0038] Furthermore, it is also possible to generate SC light of 1.3-micrometer band and 1.5-micrometer band for zero dispersive-wave length as wavelength of 1.3-micrometer band or 1.5-micrometer band.

[0039] When the above-mentioned distributed reduction field has a polarization maintenance property, it has an advantage below. The degree of a manifestation of a nonlinear optical effect depends in composition of the medium matter, and the direction of the plane of polarization of propagation light. Therefore, when time is separated on the same conditions when a distributed reduction field has a polarization maintenance property in this way, and an optical pulse inputs, the same nonlinear optical effect is discovered and generating of a stable super contest tee NIUMU light is performed. Moreover, about 4 light-wave mixture, when two light which interacts has the same direction of plane of polarization, 4 light-wave mixture occurs best. Therefore, in this optical fiber, since plane of polarization is held in process of generating of super contest tee NIUMU light, the light of each wavelength generated by self-phase modulation or 4 light-wave mixture has the same direction of plane of polarization, and can generate super contest tee NIUMU light efficiently.

[0040] between the peak power P_{peak} of the pulsed light which carried out incidence to a nonlinear refractive index n_2 and the effective core cross section A_{eff} in the distributed reduction field $-(n_2/A_{\text{eff}}) P_{\text{peak}} > 0.03 \times 10^{-8}$ when the relation of $8[1/W] \times 1.5[W] = 0.045 \times 10^{-8}$ is realized, it has the following advantages A refractive index n is the function of the power level P of input light, and is $n(P) = n_0 + (n_2/A_{\text{eff}}) P$. -- It can express n 0:0th refractive index (2) and here. And the manifestation of a nonlinear optical effect becomes remarkable and super contest tee NIUMU light is efficiently generated, so that $-(n_2/A_{\text{eff}}) P$ is large. In addition, the manifestation of a nonlinear optical effect becomes remarkable and super contest tee NIUMU light is efficiently generated, so that (n_2/A_{eff}) is large, if the power level P of input light is the same.

[0041] At this optical fiber, since it was referred to as $-(n_2/A_{\text{eff}}) P_{\text{peak}} > 0.045 \times 10^{-8}$, SC light is efficiently generated by wavelength width of face of several 10nm or more. In addition, since the peak power level P_{peak} obtained easily is 1.5 [W] grades when usual semiconductor laser and usual optical fiber amplifier are used, it is considering as $>(n_2/A_{\text{eff}}) 0.03[1/W]$, and SC light is efficiently generated by wavelength width of face of several 10nm or more.

[0042] Moreover, light equipment inputs the high peak pulsed light which a pulsed light generating means to generate the high peak pulsed light of (a) predetermined wavelength, and (b) pulsed light generating means generated, and is equipped with the above-mentioned optical fiber which generates super contest tee NIUMU light. In this light equipment, a pulsed light generating means generates the high peak pulsed light of predetermined wavelength, and inputs the generated high peak pulsed light into the above-mentioned optical fiber. If high peak pulsed light inputs into this optical fiber and advances, as explained above, super contest tee NIUMU light will be generated and it will output as an output of the light source.

[0043] From the pulsed light generator by which this pulsed light generating means generates (i) short pulsed light, and (ii) pulsed light generator You may have the light amplifier which inputs, amplifies and outputs the outputted short pulsed light. In this case, it is not necessary to need for a pulsed light generator to generate high peak pulsed light alone, and the light source which outputs super contest tee NIUMU light easily can be realized by supposing that high peak pulsed light is obtained by amplifying the short pulsed light which the pulsed light generator generated by the light amplifier in generating of high peak pulsed light. In addition, only the super contest tee NIUMU light of the above-mentioned optical fiber is effective also in generating of 7s ** and

idler light.

[0044]

[Embodiments of the Invention] Hereafter, with reference to an accompanying drawing, the optical fiber of this invention and the gestalt of operation of light equipment are explained. In addition, the same sign is given to the same element in explanation of a drawing, and the overlapping explanation is omitted.

[0045] (The 1st operation gestalt) Drawing 1 is the block diagram of the 1st operation gestalt of the light equipment of this invention. As shown in drawing 1, the high peak pulsed light outputted from the optical pulse generator 100 by which this equipment generates the pulsed light of (a) predetermined wavelength, the light amplifier 200 which inputs and amplifies the pulsed light outputted from (b) optical pulse generator 100, and outputs high peak pulsed light, and the (c) light amplifier 200 is inputted, and by spreading, SC light is generated and it has the optical fiber 310 to output.

[0046] Drawing 2 is the block diagram of an optical fiber 310, and shows the distribution of a wavelength dispersion in a longitudinal direction (travelling direction of light). As shown in drawing 2, an optical fiber 310 is a value positive in the wavelength dispersion DIN in the incidence edge of the high peak pulsed light from a light amplifier 200, and a wavelength dispersion D decreases to alignment along with a longitudinal direction.

[0047] In the light equipment of this operation gestalt, the optical pulse generator 100 generates the short pulsed light of predetermined wavelength first. The short pulsed light outputted from the optical pulse light generator 100 is inputted into a light amplifier 200, it is amplified, and turns into high peak pulsed light, and is outputted. And the high peak pulsed light outputted from the light amplifier 200 inputs into an optical fiber 310.

[0048] If high peak pulsed light inputs into an optical fiber 310, by the optical Kerr effect, the refractive index which light senses will change and the self-phase modulation of a light wave will occur. Consequently, a wavelength distribution occurs in the optical pulse within an optical fiber 310. Since the light inputted into the optical fiber 310 advances the field of anomalous scattering whose wavelength dispersion is a positive value, pulse compression progresses in the anomalous-dispersion field of group velocity where the one where wavelength is longer is late. If distribution is decreasing to the longitudinal direction, since a pulse will be compressed still more compulsorily, peak power increases. This promoted the nonlinear effect further and has led to expansion of a spectrum.

[0049] Although the light of the wavelength of a certain amount of wavelength range is contained in the compressed optical pulse, the influence of the 4 light-wave mixture by the optical Kerr effect is strongly received in the midst by which a distributed value changes from positive to negative, and the light of the wavelength of the latus wavelength range occurs further. In this way, SC light is generated.

[0050] As shown in drawing 2, the wavelength dispersion D is the function of the position Z of travelling direction, and an optical fiber 310 is $D(Z) = DIN - (\Delta D) - Z$. -- (3)

It is expressed. Therefore, if light advances, although it will be hard coming to generate the spectrum expansion by self-phase modulation, generating of the phase contrast between the light of different wavelength by advance is reduced gradually. For this reason, a wavelength dispersion D is not dependent on the position Z of travelling direction, and it is $D(Z) = DIN$. -- (4) Compared with a ***** case, the time lap of the light of different wavelength becomes large, and 4 light-wave mixture occurs efficiently.

[0051] That is, in the optical fiber 310, in the direction in which light should advance, it starts in anomalous scattering, and has the distributed reduction field where a wavelength dispersion decreases, and nonlinear phenomena, such as pulse compression by anomalous scattering, self-phase modulation, and 4 light-wave mixture, are generating SC light in the distributed reduction field which is the principal part of SC light generating.

[0052] And near the wavelength of the light which 4 light-wave mixture generates when a wavelength dispersion changes by the travelling direction of light, since a kind of scan of zero dispersive-wave length will be performed, it becomes easy to generate 4 light-wave mixture with the light of various wavelength, and the light of the wavelength of the latus wavelength range is

generated.

[0053] In addition, in this operation gestalt, it is desirable for the absolute value of the distributed slope of an optical fiber to be small. It is because it will become easy to generate 4 light-wave mixture since the time lap in the light from which wavelength differs becomes larg , if th absolute value of a distributed slope is small.

[0054] Moreover, since the time lap in the light from which wavelength differs becomes large so that the absolute value of the integration value about the longitudinal direction of a distributed slope is small, it becomes easy to generate 4 light-wave mixture.

[0055] Moreover, as for the wavelength-dispersion value in a distributed reduction field, it is desirable to change from a positive value to a negative value.

[0056] When the light of wavelength shorter than the wavelength of the high peak pulsed light which carried out incidence when a distributed slope has a value positive in a wavelength-dispersion value in the fiber which is positive in the predetermined wavelength range is easy to be generated and a wavelength-dispersion value has a negative value, the light of long wave length is easy to be generated rather than the wavelength of the high peak pulsed light which carried out incidence.

[0057] Therefore, if the wavelength-dispersion value in a distributed reduction field is changing from a positive value to a negative value, since the light of the wavelength range of short ***** will be efficiently generated to the wavelength of the high peak pulsed light which carried out incidence, SC light in the latus wavelength range is generated.

[0058] Furthermore, it becomes easy to discover the Kerr effect which is a nonlinear optical effect leading to self-phase modulation or 4 light-wave mixture, so that optical on-the-strength density is so large that a nonlinear refractive index is large. for considering as wavelength width of face of several 10nm or more -- between a nonlinear refractive index n_2 , and the effective core cross sections A_{eff} and the peak power P_{peak} of high peak pulsed light $-(n_2/A_{eff})$
 $P_{peak} > 0.03 \times 10^{-8} [1/W] \times 1.5 [W] = 0.045 \times 10^{-8}$ -- (1)

It is required to realize *****.

[0059] Drawing 3 is a graph which shows the relation between the nonlinear refractive index n_2 in case the peak power P_{peak} of high peak pulsed light is 1.5 [W], the value of a ratio with the effective core cross section A_{eff} , and the wavelength width of face of SC light. In addition, L describes a distributed slope DSLOP for the length of an optical fiber below.

[0060] If in charge of this survey, it is $DIN = 1-4 [ps/nm/km]$ as an optical fiber 310.

$\Delta D = 0.5-2 [ps/nm/km^2]$

$DSLOP = 0.035 [ps/nm^2/km]$

$L = 3 [km]$

The optical fiber of ***** was used.

[0061] Moreover, the high peak pulsed light inputted into an optical fiber 310 is pulse center wavelength (λ_0) = 1550 [nm].

Pulse peak power = 1.5 [W]

Pulse width = 3.5 [ps] (full width at half maximum)

It carried out.

[0062] And a nonlinear refractive index n_2 , the value of a ratio with the effective core cross section A_{eff} , and the wavelength width of face of SC light were calculated combining various DIN and ΔD .

[0063] the time of the peak power P_{peak} of drawing 3 to high peak pulsed light being 1.5 [W] -- $n_2/A_{eff} >$ -- when it was $0.03 \times 10^{-8} [1/W]$, irrespective of the combination of DIN and ΔD , SC light beyond a 5000 [GHz] grade was generated, and the width of face w_f of the variation rate of optical frequency was outputted

[0064] In addition, the relation between the width of face w_f of the variation rate of optical frequency and wavelength range w_{λ} is $w_{\lambda} = (\lambda_0^2/C)$ and w_f . -- (5)

here -- C: speed of light and the time of having been come out and expressed, expressing the width of face w_f of the variation rate of optical frequency, and expressing wavelength range w_{λ} per [nm] per [THz] -- λ_0 -- if $\lambda_0 = 1550 [nm]$ -- $w_{\lambda} = 8w_f$ -- (6)

It becomes.

[0065] That is, if it is $n_2/A_{eff} > 0.03 \times 10^{-8} [1/W]$ when the peak power P_{peak} of high peak pulsed light is 1.5 [W], SC light with a wavelength width of face of about 40nm or more will be outputted.

[0066] Moreover, with this operation gestalt, an optical fiber 310 is a polarization maintenance fiber, and it is desirable to have a plane-of-polarization maintenance property. It is because 4 light-wave mixture occurs best when two light which interacts has the same direction of plane of polarization about 4 light-wave mixture.

[0067] Below, the example of the light equipment of this operation gestalt is explained.

[0068] (Example 1) Drawing 4 is the block diagram of the light equipment of an example 1. As shown in drawing 4, the high peak pulsed light outputted from the optical pulse generator 100 by which this equipment generates the pulsed light of (a) predetermined wavelength, the light amplifier 200 which inputs and amplifies the pulsed light outputted from (b) optical pulse generator 100, and outputs high peak pulsed light, and the (c) light amplifier 200 is inputted, and by spreading, SC light is generated and it has the optical fiber 311 to output.

[0069] An optical fiber 311 is $DIN=1 [ps/nm/km]$.

$\Delta D=1/3 [ps/nm/km^2]$

$DSLOP=0.07 [ps/nm^2/km]$

$L=3 [km]$

$n_2=2.0 \times 10^{-20} [m^2/W]$

$A_{eff}=50 [\mu m^2]$

It is a ***** shift fiber.

[0070] Drawing 5 is a graph which shows the spectrum of the high peak pulsed light in this example, and generated SC light. Drawing 5 (a) is a graph which shows the spectrum of the high peak pulsed light inputted into an optical fiber 311, and drawing 5 (b) is a graph which shows a spectrum with SC light outputted from an optical fiber 311.

[0071] The high peak pulsed light inputted into an optical fiber 311 is pulse center wavelength (λ_0) = 1550[nm] while having the spectrum distribution shown in drawing 5 (a).

Pulse peak power = 1.5 [W]

Pulse width = 3.5 [ps] (full width at half maximum)

It carried out.

[0072] As shown in drawing 5 (b), in the light equipment of this example, near wavelength = 1550 [nm], SC light of about 5000 [GHz] was generated and the width of face w_f of the variation rate of the optical frequency of the flat peak portion in an output spectrum was outputted. That is, in the light equipment of this example, SC light with a wavelength width of face of about 40nm was outputted.

[0073] (Example 2) Drawing 6 is the block diagram of the light equipment of an example 2. As shown in drawing 6, the high peak pulsed light outputted from the optical pulse generator 100 by which this equipment generates the pulsed light of (a) predetermined wavelength, the light amplifier 200 which inputs and amplifies the pulsed light outputted from (b) optical pulse generator 100, and outputs high peak pulsed light, and the (c) light amplifier 200 is inputted, and by spreading, SC light is generated and it has the optical fiber 312 to output.

[0074] An optical fiber 312 is $DIN=1 [ps/nm/km]$.

$\Delta D=0.5 [ps/nm/km^2]$

$DSLOP=0.01 [ps/nm^2/km]$

$L=3 [km]$

$n_2=2.0 \times 10^{-20} [m^2/W]$

$A_{eff}=50 [\mu m^2]$

It is a ***** flat fiber.

[0075] Drawing 7 is a graph which shows the spectrum of SC light generated by this example. In addition, the high peak pulsed light inputted into an optical fiber 312 presupposed that it is the same as that of an example 1.

[0076] As shown in drawing 7, in the light equipment of this example, near wavelength = 1550 [nm], SC light of about 12000 [GHz] was generated and the width of face w_f of the variation rate of the optical frequency of the flat peak portion in an output spectrum was outputted. That

is, in the light equipment of this example, SC light with a wavelength width of face of about 96nm was outputted.

[0077] Compared with the example 1, the wavelength width of face of SC light expanded this example.

[0078] (Example 3) Drawing 8 is the block diagram of the light equipment of an example 3. As shown in drawing 8, the high peak pulsed light outputted from the optical pulse generator 100 by which this equipment generates the pulsed light of (a) predetermined wavelength, the light amplifier 200 which inputs and amplifies the pulsed light outputted from (b) optical pulse generator 100, and outputs high peak pulsed light, and the (c) light amplifier 200 is inputted, and by spreading, SC light is generated and it has the optical fiber 313 to output.

[0079] An optical fiber 313 is $DIN=0.7[ps/nm/km]$.

$\Delta D=1/3[ps/nm/km^2]$

$DSLOP=0.01[ps/nm^2/km]$

$L=3[km]$

$n_2=2.0 \times 10^{-20}[m^2/W]$

$A_{eff}=50[\mu m^2]$

It is a ***** flat fiber.

[0080] Drawing 9 is a graph which shows the spectrum of SC light generated by this example. In addition, the high peak pulsed light inputted into an optical fiber 313 presupposed that it is the same as that of an example 1.

[0081] As shown in drawing 9, in the light equipment of this example, near wavelength $=1550[\mu m]$, SC light of about 10000 [GHz] was generated and the width of face w_f of the variation rate of the optical frequency of the flat peak portion (less than a $**5[dB]$ grade) in an output spectrum was outputted. That is, in the light equipment of this example, SC light with a wavelength width of face of about 80nm was outputted.

[0082] Compared with the example 1, the wavelength width of face of SC light expanded this example like the example 2.

[0083] (Example 4) this example measures systematically the wavelength width of face of SC light, and a relation with the distributed slope DSLOP.

[0084] Drawing 10 is the block diagram of the light equipment of an example 4. As shown in drawing 10, the high peak pulsed light outputted from the optical pulse generator 100 by which this equipment generates the pulsed light of (a) predetermined wavelength, the light amplifier 200 which inputs and amplifies the pulsed light outputted from (b) optical pulse generator 100, and outputs high peak pulsed light, and the (c) light amplifier 200 is inputted, and by spreading, SC light is generated and it has the optical fiber 314 to output.

[0085] An optical fiber 314 is $DIN=2[ps/nm/km]$.

$\Delta D=1[ps/nm/km^2]$

$DSLOP=0.01 \sim 0.2[ps/nm^2/km]$

$L=3[km]$

$n_2=6.0 \times 10^{-20}[m^2/W]$

$A_{eff}=10[\mu m^2]$

It is a ***** flat fiber.

[0086] Drawing 11 and drawing 12 are graphs which show the spectrum of SC light generated by this example. When drawing 11 (a) is $DSLOP=0.1$ in the case of $DSLOP=0.2$, in the case of $DSLOP=0.05$, in the case of $DSLOP=0.03$, drawing 12 (b) shows the case of $DSLOP=0.02$ and, as for drawing 12 (a), in the case of $DSLOP=0.08$, in drawing 11 (d), drawing 12 (c) shows [drawing 11 (b) / drawing 11 (c)] the case of $DSLOP=0.01$. In addition, the high peak pulsed light inputted into an optical fiber 314 presupposed that it is the same as that of an example 1.

[0087] As shown in drawing 11 and drawing 12, or less by 0.1, near wavelength $=1550[\mu m]$, SC light of about 10000 [GHz] was generated and the width of face w_f of the variation rate of the optical frequency of a flat peak portion [in / an output spectrum / in DSLOP] was outputted. That is, with the light equipment of this example, SC light with a wavelength width of face of about 80nm was outputted for DSLOP or less by 0.1.

[0088] (Example 5) Drawing 13 is the block diagram of the light equipment of an example 5. As

shown in drawing 13 , the high peak pulsed light outputted from the optical pulse generator 100 by which this equipment generates the pulsed light of (a) predetermined wavelength, the light amplifier 200 which inputs and amplifies the pulsed light outputted from (b) optical pulse generator 100, and outputs high peak pulsed light, and the (c) light amplifier 200 is inputted, and by spreading, SC light is generated and it has the optical fiber 315 to output.

[0089] An optical fiber 315 is $DIN=2[\text{ps/nm/km}]$.

$\Delta D=1[\text{ps/nm/km}^2]$

DSLOP: It is reduction $L=3[\text{km}]$ to alignment at $0.01\text{---}0.01[\text{ps/nm}^2/\text{km}]$.

$n_2=3.0 \times 10^{-20}[\text{m}^2/\text{W}]$

$A_{\text{eff}}=50[\mu\text{m}^2]$

It is a ***** flat fiber.

[0090] Drawing 14 is a graph which shows the spectrum of SC light generated by this example. In addition, the high peak pulsed light inputted into an optical fiber 315 presupposed that it is the same as that of an example 1.

[0091] As shown in drawing 14 , in the light equipment of this example, near wavelength $=1550[\mu\text{m}]$, SC light of about $30000[\text{GHz}]$ was generated and the width of face w_f of the variation rate of the optical frequency of the flat peak portion in an output spectrum was outputted. That is, in the light equipment of this example, SC light with a wavelength width of face of about 240nm was outputted.

[0092] (The 2nd operation gestalt) Drawing 15 is the block diagram of the 2nd operation gestalt of the light equipment of this invention. As shown in drawing 15 , the high peak pulsed light outputted from the optical pulse generator 100 by which this equipment generates the pulsed light of (a) predetermined wavelength, the light amplifier 200 which inputs and amplifies the pulsed light outputted from (b) optical pulse generator 100, and outputs high peak pulsed light, and the (c) light amplifier 200 is inputted, and by spreading, SC light is generated and it has the optical fiber 320 to output.

[0093] Drawing 16 is a graph in the longitudinal direction (travelling direction of light) of an optical fiber 320 which shows the distribution of a wavelength dispersion.

[0094] Although this operation gestalt of an optical fiber 320 being a value positive in the wavelength dispersion DIN in the incidence edge of the high peak pulsed light from a light amplifier 200 as shown in drawing 16 is the same compared with the 1st operation gestalt, along with a longitudinal direction, it differs in that a wavelength dispersion D decreases in nonlinear.

[0095] In the light equipment of this operation gestalt, the high peak pulsed light to which it inputted into the light amplifier 200, and it was amplified, and the short pulsed light which the optical pulse generator 100 generated turned into high peak pulsed light, was outputted, and was outputted from the light amplifier 200 like the 1st operation gestalt inputs into an optical fiber 320.

[0096] Henceforth, like the 1st operation gestalt, if high peak pulsed light inputs into an optical fiber 320, by the optical Kerr effect, the refractive index which light senses will change and the self-phase modulation of a light wave will occur. Consequently, a wavelength distribution occurs in the optical pulse within an optical fiber 320. Since the light inputted into the optical fiber 320 advances the field of anomalous scattering whose wavelength dispersion is a positive value, pulse compression progresses in the anomalous-dispersion field of group velocity where the one where wavelength is longer is late. If distribution is decreasing to the longitudinal direction, since a will be compressed still more compulsorily, peak power increases. This promoted the nonlinear effect further and has led to expansion of a spectrum.

[0097] Although the light of the wavelength of a certain amount of wavelength range is contained in the compressed optical pulse, the influence of the 4 light-wave mixture by the optical Kerr effect is strongly received in the midst by which a distributed value changes from positive to negative, and the light of the wavelength of the latus wavelength range occurs further. In this way, SC light is generated.

[0098] In addition, also in this operation gestalt, since the time lap in the light from which wavelength differs becomes large so that it is desirable like the 1st operation gestalt for the absolute value of the distributed slope of an optical fiber to be small and the absolute value of

the integration value about the longitudinal direction of a distributed slope is small, it becomes easy to generate 4 light-wave mixture.

[0099] Furthermore, like the 1st operation gestalt, it becomes easy to discover the Kerr effect which is a nonlinear optical effect leading to self-phase modulation or 4 light-wave mixture, so that optical on-the-strength density is so large that a nonlinear refractive index is large. for considering as wavelength width of face of several 10nm or more — between a nonlinear refractive index n_2 , and the effective core cross sections A_{eff} and the peak power P_{peak} of high peak pulsed light $-(n_2/A_{eff}) P_{peak} > 0.03 \times 10^{-8} [1/W] \times 1.5 [W] = 0.045 \times 10^{-8}$ — (1)

It is required to realize *****.

[0100] Moreover, it is desirable for an optical fiber 320 to be a polarization maintenance fiber like the 1st operation gestalt, and to have a plane-of-polarization maintenance property with this operation gestalt. It is because 4 light-wave mixture occurs best when two light which interacts has the same direction of plane of polarization about 4 light-wave mixture.

[0101] Hereafter, the example of this operation gestalt is explained.

[0102] (Example 6) Drawing 17 is the block diagram of the light equipment of an example 6. As shown in drawing 17, the high peak pulsed light outputted from the optical pulse generator 100 by which this equipment generates the pulsed light of (a) predetermined wavelength, the light amplifier 200 which inputs and amplifies the pulsed light outputted from (b) optical pulse generator 100, and outputs high peak pulsed light, and the (c) light amplifier 200 is inputted, and by spreading, SC light is generated and it has the optical fiber 321 to output.

[0103] An optical fiber 321 is $DIN = 1.8 [ps/nm/km]$.

$DOUT = -0.1 [ps/nm/km]$

$DSLOP = 0.01 [ps/nm^2/km]$

$L = 3 [km]$

$n_2 = 2.0 \times 10^{-20} [m^2/W]$

$A_{eff} = 50 [\mu m^2]$

It is a ***** flat fiber.

[0104] Drawing 18 is a graph which shows the measurement result of generation of SC light in this example. In addition, the high peak pulsed light inputted into an optical fiber 321 presupposed that it is the same as that of an example 1.

[0105] As shown in drawing 18, in the light equipment of this example, near wavelength $= 1550 [\mu m]$, SC light of about 12000 [GHz] was generated and the width of face w_f of the variation rate of the optical frequency of the flat peak portion in an output spectrum was outputted. That is, in the light equipment of this example, SC light with a wavelength width of face of about 96nm was outputted.

[0106] (The 3rd operation gestalt) Drawing 19 is the block diagram of the 3rd operation gestalt of the light equipment of this invention. As shown in drawing 19, the high peak pulsed light outputted from the optical pulse generator 100 by which this equipment generates the pulsed light of (a) predetermined wavelength, the light amplifier 200 which inputs and amplifies the pulsed light outputted from (b) optical pulse generator 100, and outputs high peak pulsed light, and the (c) light amplifier 200 is inputted, and by spreading, SC light is generated and it has the optical fiber 330 to output.

[0107] Drawing 20 is a graph in the longitudinal direction (travelling direction of light) of an optical fiber 330 which shows the distribution of a wavelength dispersion.

[0108] Although this operation gestalt of an optical fiber 320 being a value positive in the wavelength dispersion DIN in the incidence edge of the high peak pulsed light from a light amplifier 200 as shown in drawing 20 is the same compared with the 1st operation gestalt, along with a longitudinal direction, it differs in that a wavelength dispersion D decreases dispersedly.

[0109] Such an optical fiber is obtained by connecting the optical fiber of the length L_i of each section which has the wavelength-dispersion value D_i of each section.

[0110] In the light equipment of this operation gestalt, the high peak pulsed light to which it inputted into the light amplifier 200, and it was amplified, and the short pulsed light which the optical pulse generator 100 generated turned into high peak pulsed light, was outputted, and was outputted from the light amplifier 200 like the 1st operation gestalt inputs into an optical fiber

330.

[0111] Henceforth, like the 1st operation gestalt, if high peak pulsed light inputs into an optical fiber 330, by the optical Kerr effect, the refractive index which light senses will change and the self-phase modulation of a light wave will occur. Consequently, a wavelength distribution occurs in the optical pulse within an optical fiber 330. Since the light inputted into the optical fiber 330 advances the field of anomalous scattering whose wavelength dispersion is a positive value, pulse compression progresses in the anomalous-dispersion field of group velocity where the one where wavelength is longer is late. If distribution is decreasing to the longitudinal direction, since a pulse will be compressed still more compulsorily, peak power increases. This promotes the nonlinear effect further and has led to expansion of a spectrum.

[0112] Although the light of the wavelength of a certain amount of wavelength range is contained in the compressed optical pulse, the influence of the 4 light-wave mixture by the optical Kerr effect is strongly received in the midst by which a distributed value changes from positive to negative, and the light of the wavelength of the large wavelength range occurs further. In this way, SC light is generated.

[0113] In addition, also in this operation gestalt, since the time lag in the light from which wavelength differs becomes large so that it is desirable like the 1st operation gestalt for the absolute value of the distributed slope of an optical fiber to be small and the absolute value of the integration value about the longitudinal direction of a distributed slope is small, it becomes easy to generate 4 light-wave mixture.

[0114] Furthermore, like the 1st operation gestalt, it becomes easy to discover the Kerr effect which is a nonlinear optical effect leading to self-phase modulation or 4 light-wave mixture, so that optical on-the-strength density is so large that a nonlinear refractive index is large. For considering as wavelength width of face of several 10nm or more -- between a nonlinear refractive index n_2 , and the effective core cross sections A_{eff} and the peak power P_{peak} of high peak pulsed light $-(n_2/A_{eff}) P_{peak} > 0.03 \times 10^{-8} [1/W] \times 1.5 [W] = 0.045 \times 10^{-8}$ -- (1)

It is required to realize *****.

[0115] Moreover, it is desirable for an optical fiber 330 to be a polarization maintenance fiber like the 1st operation gestalt, and to have a plane-of-polarization maintenance property with this operation gestalt. It is because 4 light-wave mixture occurs best when two light which interacts has the same direction of plane of polarization about 4 light-wave mixture.

[0116] Hereafter, the example of this operation gestalt is explained.

[0117] (Example 7) Drawing 21 is the block diagram of the light equipment of an example 7. As shown in drawing 21, the high peak pulsed light outputted from the optical pulse generator 100 by which this equipment generates the pulsed light of (a) predetermined wavelength, the light amplifier 200 which inputs and amplifies the pulsed light outputted from (b) optical pulse generator 100, and outputs high peak pulsed light, and the (c) light amplifier 200 is inputted, and by spreading, SC light is generated and it has the optical fiber 331 to output.

[0118] As an optical fiber 331 is shown in drawing 21, the length L_i of each section is 500 [m] altogether. $D_1 = 2.0 [\text{ps/nm/km}]$ $D_2 = 1.4 [\text{ps/nm/km}]$, $D_3 = 0.8 [\text{ps/nm/km}]$ and $D_4 = 0.2 [\text{ps/nm/km}]$ and $D_5 = 0.01 [\text{ps/nm/km}]$ and $D_6 = -0.2 [\text{ps/nm/km}]$ and $DSLOP = -0.01 [\text{ps/nm}^2/\text{km}]$

$L = 3 [\text{km}]$

$n_2 = 2.0 \times 10^{-20} [\text{m}^2/\text{W}]$

$A_{eff} = 50 [\mu\text{m}^2]$

It has *****.

[0119] Drawing 22 is a graph which shows the spectrum of SC light generated by this example. In addition, the high peak pulsed light inputted into an optical fiber 321 presupposed that it is the same as that of an example 1.

[0120] As shown in drawing 22, in the light equipment of this example, near wavelength = 1550 [nm], SC light of about 12000 [GHz] was generated and the width of face w_f of the variation rate of the optical frequency of the flat peak portion in an output spectrum was outputted. That is, in the light equipment of this example, SC light with a wavelength width of face of about 96nm was outputted.

[0121] (The 4th operation gestalt) Drawing 23 is the block diagram of the 4th operation gestalt of the light equipment of this invention. The optical pulse generator 100 by which this equipment generates the pulsed light of (a) predetermined wavelength as shown in drawing 23, (b) The pulsed light outputted from the optical pulse generator 100 is inputted and amplified. By inputting and spreading the high peak pulsed light outputted from the light amplifier 200 which outputs high peak pulsed light, and the (c) light amplifier 200, SC light is generated and it has the optical fiber 340 to output and which consists of an optical fiber 341 and an optical fiber 342.

[0122] Drawing 24 is a graph in the longitudinal direction (travelling direction of light) of an optical fiber 340 which shows the distribution of a wavelength dispersion. As shown in drawing 24, at the (i) optical fiber 341, the wavelength dispersion DIN in the incidence edge of the high peak pulsed light from a light amplifier 200 is a positive value, along with a longitudinal direction, a wavelength dispersion D decreases to alignment and a wavelength dispersion has a small value by the (ii) optical fiber 342.

[0123] Such an optical fiber is obtained by connecting the optical fiber of the length Li of each section which has the wavelength-dispersion value Di of each section.

[0124] In the light equipment of this operation gestalt, the high peak pulsed light to which it inputted into the light amplifier 200, and it was amplified, and the short pulsed light which the optical pulse generator 100 generated turned into high peak pulsed light, was outputted, and was outputted from the light amplifier 200 like the 1st operation gestalt inputs into the optical fiber 341 of an optical fiber 340.

[0125] Henceforth, like the 1st operation gestalt, if high peak pulsed light inputs into an optical fiber 341, by the optical Kerr effect, the refractive index which light senses will change and the self-phase modulation of a light wave will occur. Consequently, a wavelength distribution occurs in the optical pulse within an optical fiber 341. Since the light inputted into the optical fiber 341 advances the field of anomalous scattering whose wavelength dispersion is a positive value, pulse compression progresses in the anomalous-dispersion field of group velocity where the one where wavelength is longer is late. If distribution is decreasing to the longitudinal direction, since a will be compressed still more compulsorily, peak power increases. This promoted the nonlinear effect further and has led to expansion of a spectrum.

[0126] Although the light of the wavelength of a certain amount of wavelength range is contained in the compressed optical pulse, the influence of the 4 light-wave mixture by the optical Kerr effect is strongly received in the midst by which a distributed value changes from positive to negative, and the light of the wavelength of the latus wavelength range occurs further. In this way, SC light is generated.

[0127] In this way, generated SC light is outputted from an optical fiber 341, it is inputted into an optical fiber 342, and after spreading an optical fiber 342, it is outputted.

[0128] In addition, also in this operation gestalt, since the time lap in the light from which wavelength differs becomes large so that it is desirable like the 1st operation gestalt for the absolute value of the distributed slope of an optical fiber 341 to be small and the absolute value of the integration value about the longitudinal direction of a distributed slope is small, it becomes easy to generate 4 light-wave mixture.

[0129] Furthermore, like the 1st operation gestalt, it becomes easy to discover the Kerr effect which is a nonlinear optical effect constituting the self-phase modulation in an optical fiber 341, or the cause of 4 light-wave mixture, so that optical on-the-strength density is so large that a nonlinear refractive index is large. for considering as wavelength width of face of several 10nm or more -- between a nonlinear refractive index n_2 , and the effective core cross sections A_{eff} and the peak power P_{peak} of high peak pulsed light $-(n_2/A_{eff}) P_{peak} > 0.03 \times 10^{-8} [1/W] \times 1.5 [W]$
 $= 0.045 \times 10^{-8} -- (1)$

It is required to realize *****.

[0130] Moreover, it is desirable for an optical fiber 341 to be a polarization maintenance fiber like the 1st operation gestalt, and to have a plane-of-polarization maintenance property with this operation gestalt. It is because 4 light-wave mixture occurs best when two light which interacts has the same direction of plane of polarization about 4 light-wave mixture.

[0131] Hereafter, the example of this operation gestalt is explained.

[0132] (Example 8) Drawing 25 is the block diagram of the light equipment of an example 8. The optical pulse generator 100 by which this equipment generates the pulsed light of (a) predetermined wavelength as shown in drawing 25, (b) The pulsed light outputted from the optical pulse generator 100 is inputted and amplified. It has the optical fiber 345 which generates and outputs SC light and which consists of an optical fiber 346 and an optical fiber 347 by inputting and spreading the high peak pulsed light outputted from the light amplifier 200 which outputs high peak pulsed light, and the (c) light amplifier 200.

[0133] An optical fiber 346 is $DIN=0.8[\text{ps}/\text{nm}/\text{km}]$ $\Delta D=2[\text{ps}/\text{nm}/\text{km}]$ $DSLOP=0.01[\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}]$ and $L=0.5[\text{km}]$, as shown in drawing 25.

$n_2=6.0 \times 10^{-20}[\text{m}^2/\text{W}]$

$A_{\text{eff}}=10[\mu\text{m}^2]$

It has *****.

[0134] Moreover, an optical fiber 347 is $DIN=0[\text{ps}/\text{nm}/\text{km}]$ $\Delta D=0[\text{ps}/\text{nm}/\text{km}]$ $DSLOP=0.01[\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}]$ and $L=2.5[\text{km}]$, as shown in drawing 25.

$n_2=6.0 \times 10^{-20}[\text{m}^2/\text{W}]$

$A_{\text{eff}}=10[\mu\text{m}^2]$

It has *****.

[0135] Drawing 26 is a graph which shows the spectrum of SC light generated by this example. In addition, the high peak pulsed light inputted into an optical fiber 335 presupposed that it is the same as that of an example 1.

[0136] As shown in drawing 26, in the light equipment of this example, near wavelength $=1550[\mu\text{m}]$, SC light of about 10000 [GHz] was generated and the width of face w_f of the variation rate of the optical frequency of the flat peak portion in an output spectrum was outputted. That is, in the light equipment of this example, SC light with a wavelength width of face of about 80nm was outputted.

[0137] the [in addition, / the 2nd / on this example and as opposed to the 1st operation gestalt /, or] — the same deformation as 3 operation gestalten is possible

[0138] (The 5th operation gestalt) Drawing 27 is the block diagram of the 5th operation gestalt of the light equipment of this invention. The optical pulse generator 100 by which this equipment generates the pulsed light of (a) predetermined wavelength as shown in drawing 27, (b) The pulsed light outputted from the optical pulse generator 100 is inputted and amplified. By inputting and spreading the high peak pulsed light outputted from the light amplifier 200 which outputs high peak pulsed light, and the (c) light amplifier 200, SC light is generated and it has the optical fiber 350 which consists of the optical fiber 351 and optical fiber 352 to output, and an optical fiber 353.

[0139] Drawing 28 is a graph in the longitudinal direction (travelling direction of light) of an optical fiber 350 which shows the distribution of a wavelength dispersion. As shown in drawing 28, in the (i) optical fiber 351, a wavelength dispersion D has a small value, in the (ii) optical fiber 352, the wavelength dispersion DIN in the incidence edge of high peak pulsed light is a positive value, along with a longitudinal direction, a wavelength dispersion D decreases to alignment and a wavelength dispersion D has a small value by the optical fiber (iii) 353.

[0140] Such an optical fiber is obtained by connecting the optical fiber of the length L_i of each section which has the wavelength-dispersion value D_i of each section.

[0141] In the light equipment of this operation gestalt, the high peak pulsed light to which it inputted into the light amplifier 200, and it was amplified, and the short pulsed light which the optical pulse generator 100 generated turned into high peak pulsed light, was outputted, and was outputted from the light amplifier 200 like the 1st operation gestalt inputs into the optical fiber 351 of an optical fiber 350. And after spreading an optical fiber 351, it inputs into an optical fiber 352.

[0142] Henceforth, like the 1st operation gestalt, if high peak pulsed light inputs into an optical fiber 352, by the optical Kerr effect, the refractive index which light senses will change and the self-phase modulation of a light wave will occur. Consequently, a wavelength distribution occurs in the optical pulse within an optical fiber 352. Since the light inputted into the optical fiber 352 advances the field of anomalous scattering whose wavelength dispersion is a positive value, pulse

compression progresses in the anomalous-dispersion field of group velocity where the one where wavelength is longer is late. If distribution is decreasing to the longitudinal direction, since a will be compressed still more compulsorily, peak power increases. This promoted the nonlinear effect further and has led to expansion of a spectrum.

[0143] Although the light of the wavelength of a certain amount of wavelength range is contained in the compressed optical pulse, the influence of the 4 light-wave mixture by the optical Kerr effect is strongly received in the midst by which a distributed value changes from positive to negative, and the light of the wavelength of the latus wavelength range occurs further. In this way, SC light is generated.

[0144] In this way, generated SC light is outputted from an optical fiber 352, it is inputted into an optical fiber 353, and after spreading an optical fiber 353, it is outputted.

[0145] In addition, also in this operation gestalt, since the time lap in the light from which wavelength differs that it is desirable like the 1st operation gestalt for the absolute value of the distributed slope of an optical fiber 352 to be small, and the integration value about the longitudinal direction of a distributed slope is abbreviation 0 becomes large almost ideally, it becomes easy to generate 4 light-wave mixture.

[0146] Furthermore, like the 1st operation gestalt, it becomes easy to discover the Kerr effect which is a nonlinear optical effect constituting the self-phase modulation in an optical fiber 352, or the cause of 4 light-wave mixture, so that optical on-the-strength density is so large that a nonlinear refractive index is large. for considering as wavelength width of face of several 10nm or more -- between a nonlinear refractive index n_2 , and the effective core cross sections A_{eff} and the peak power P_{peak} of high peak pulsed light $-(n_2/A_{eff}) P_{peak} > 0.03 \times 10^{-8} [1/W]$ -- it is required to realize the relation of $x1.5[W] = 0.045 \times 10^{-8} -- (1) **$

[0147] Moreover, it is desirable for optical fibers 351 and 352 to be polarization maintenance fibers like the 1st operation gestalt, and to have a plane-of-polarization maintenance property with this operation gestalt. It is because 4 light-wave mixture occurs best when two light which interacts has the same direction of plane of polarization about 4 light-wave mixture.

[0148] Hereafter, the example of this operation gestalt is explained.

[0149] (Example 9) Drawing 29 is the block diagram of the light equipment of an example 9. The optical pulse generator 100 by which this equipment generates the pulsed light of (a) predetermined wavelength as shown in drawing 29, (b) The pulsed light outputted from the optical pulse generator 100 is inputted and amplified. It has the optical fiber 355 which consists of the optical fiber 356 and optical fiber 357 which generate and output SC light, and an optical fiber 358 by inputting and spreading the high peak pulsed light outputted from the light amplifier 200 which outputs high peak pulsed light, and the (c) light amplifier 200.

[0150] An optical fiber 356 is $DIN=0.2[ps/nm/km]$ $\Delta D=0[ps/nm/km^2]$ $DSLOP=0.035[ps/nm^2/km]$ and $L=1[km]$, as shown in drawing 29.

$n_2=5.0 \times 10^{-20}[m^2/W]$

$A_{eff}=13.85[m^2]$

It has *****.

[0151] Moreover, an optical fiber 357 is $DIN=0.8[ps/nm/km]$ $\Delta D=1[ps/nm/km^2]$ $DSLOP=0.035[ps/nm^2/km]$ and $L=1[km]$, as shown in drawing 29.

$n_2=5.0 \times 10^{-20}[m^2/W]$

$A_{eff}=13.85[m^2]$

It has *****.

[0152] Moreover, an optical fiber 358 is $DIN=0.2[ps/nm/km]$ $\Delta D=0[ps/nm/km^2]$ $DSLOP=0.035[ps/nm^2/km]$ and $L=1[km]$, as shown in drawing 29.

$n_2=5.0 \times 10^{-20}[m^2/W]$

$A_{eff}=13.85[m^2]$

It has *****.

[0153] Drawing 30 is a graph which shows the spectrum of SC light generated by this example. In addition, the high peak pulsed light inputted into an optical fiber 355 presupposed that it is the same as that of an example 1.

[0154] As shown in drawing 30, in the light equipment of this example, near wavelength =1550

[mum], SC light of about 12000 [GHz] was generated and the width of face wf of the variation rate of the optical frequency of the flat peak portion in an output spectrum was outputted. That is, in the light equipment of this example, SC light with a wavelength width of face of about 96nm was outputted.

[0155] the [in addition, / the 2nd / on this example and as opposed to the 1st operation gestalt /, or] -- the same deformation as 3 operation gestalten is possible

[0156] Moreover, as shown in drawing 31 , the zero dispersive-wave length in predetermined position $L=L_0$ of the optical fiber for SC light of the above-mentioned operation gestalt is in agreement with the wavelength λ_0 of incidence pulsed light. Setting the wavelength dispersion of the incidence edge $L=0$ of the optical fiber in wavelength λ_0 to DIN, an optical fiber has the fixed distributed slope DSLOP in the wavelength range of $\lambda_0 \pm 20\text{nm}$ in every position.

[0157] (The 6th operation gestalt) In order to generate SC light, as the distributed slope DSLOP does not necessarily need to be fixed in the wavelength range which is $\lambda_0 \pm 20\text{nm}$ and it is shown in drawing 32 , it sets in the wavelength range of $\lambda_0 \pm 20\text{nm}$ of wavelength dispersions, and it is abbreviation regularity (you may be a flat (DSLOP $\rightarrow 0$)). This optical fiber has two zero dispersive-wave length in wavelength within the limits of 1530–1570nm in a position with the predetermined length direction.

[0158] Drawing 33 shows the light equipment of the 6th operation gestalt using the optical fiber 360 for SC light which has the property of drawing 32 . As shown in drawing 33 , the high peak pulsed light outputted from the optical pulse generator 100 by which this equipment generates the pulsed light of (a) predetermined wavelength, the light amplifier 200 which inputs and amplifies the pulsed light outputted from (b) optical pulse generator 100, and outputs high peak pulsed light, and the (c) light amplifier 200 is inputted, and by spreading, SC light is generated and it has the optical fiber 360 to output. An optical fiber 360 is a value positive in the wavelength dispersion DIN in the incidence edge of the high peak pulsed light from a light amplifier 200, and the wavelength dispersion D in predetermined wavelength range $\lambda_0 \pm 20\text{nm}$ decreases to alignment along with a longitudinal direction. That is, the wavelength dispersion D in length $L=0$ is DIN, the wavelength dispersion D in length $L=L_0$ is zero, and the wavelength dispersion D in length $L=L$ is DOUT.

[0159] In the light equipment of this operation gestalt, the optical pulse generator 100 generates the short pulsed light of predetermined wavelength first. The short pulsed light outputted from the optical pulse light generator 100 is inputted into a light amplifier 200, it is amplified, and turns into high peak pulsed light, and is outputted. And the high peak pulsed light outputted from the light amplifier 200 inputs into an optical fiber 360.

[0160] If high peak pulsed light inputs into an optical fiber 360, by the optical Kerr effect, the refractive index which light senses will change and the self-phase modulation of a light wave will occur. Consequently, a wavelength distribution occurs in the optical pulse within an optical fiber 360. Since the light inputted into the optical fiber 360 advances the field of anomalous scattering whose wavelength dispersion D is a positive value, pulse compression progresses in the anomalous-dispersion field of group velocity where the one where wavelength is longer is late. If distribution is decreasing to the longitudinal direction, since a pulse will be compressed still more compulsorily, peak power increases. This promoted the nonlinear effect further and has led to expansion of a spectrum.

[0161] Although the light of the wavelength of a certain amount of wavelength range is contained in the compressed optical pulse, the influence of the 4 light-wave mixture by the optical Kerr effect is strongly received in the midst by which a distributed value changes from positive to negative, and the light of the wavelength of the latus wavelength range occurs further. In this way, SC light is generated.

[0162] Drawing 34 shows the spectrum of the outgoing radiation light by which outgoing radiation is carried out from this SC optical fiber 360. In addition, length L of an optical fiber 360 is 1km. The peak wavelength λ_0 of the wavelength spectrum of this SC light is 1550nm, and when the bandwidth which the outgoing radiation spectrum in -20dB low on-the-strength level has from the maximum intensity is defined as SC band, SC band is 100nm or more. Moreover, the

difference of the maximum of the flatness of the spectrum of the outgoing radiation light in the peak-wavelength $\lambda_0 \pm 50\text{nm}$ area within a wavelength range, i.e., the outgoing radiation light intensity within the limits of this, and the minimum value is less than 15dB.

[0163] In addition, when incidence of the same optical pulse was carried out to this optical fiber 360 from an opposite direction, the spectrum shown in drawing 35 was acquired. In this case, expansion of the spectrum of outgoing radiation light is 30nm or less in SC band small. Of course, the difference of the maximum of the flatness of the spectrum of outgoing radiation light, i.e., outgoing radiation light intensity, and the minimum value is larger than 15dB. In addition, the peak of most left-hand side is the spectrum of noise light.

[0164] Moreover, when it had the wavelength-dispersion property shown in drawing 36 and Distribution D inputted the same optical pulse as the optical pulse of drawing 34 into an optical fiber fixed in the length direction, the spectrum as shown in drawing 37 was acquired. Length L of this optical fiber is 1km, and the flatness of this spectrum is larger than 15dB. In addition, the peak of most left-hand side is the spectrum of noise light.

[0165] Next, SC light is explained. Drawing 38 has the wavelength-dispersion property shown in drawing 31, and shows the spectrum of the output light from an optical fiber 310 shown in drawing 1 to which Distribution D decreased to alignment along the length direction L. The distributed slope DSLOP of this optical fiber is 0.03 [ps/nm²/km], and Distribution D decreases from 3 to -2 [ps/nm/km]. The full width at half maximum of this spectrum is 160nm, and the difference of the maximum of the flatness of the spectrum of the outgoing radiation light in the peak-wavelength $\lambda_0 \pm 50\text{nm}$ area within a wavelength range, i.e., outgoing radiation light intensity, and the minimum value is less than 15dB. Therefore, the flatness of the spectrum in a peak-wavelength $\lambda_0 \pm 50\text{nm}$ wavelength-range region is less than 15dB, full width at half maximum is at least 30nm or more, and SC light is light 100nm or more preferably.

[0166] When incidence of the light was carried out to this optical fiber 310 from an opposite direction, the spectrum shown in drawing 39 was acquired. As for this, the flatness of the spectrum is not SC light but the peak-wavelength $\lambda_0 \pm 50\text{nm}$ wavelength-range region of this light is larger than 15dB, and full width at half maximum is smaller than 30nm.

[0167] Drawing 40 is the cross section of this optical fiber 310. This optical fiber 310 is equipped with inside clad 310IC which encloses core 310x and core 310y, and outside clad 310OC which encloses inside clad 310IC. The diameter DC of a core 310 is decreasing to alignment along the length direction (the propagation direction of light), the diameter diffuse intravascular coagulation of inside clad 310IC is decreasing to alignment along the length direction, and the diameter DOC of outside clad 310OC is decreasing to alignment along the length direction.

[0168] In order to make a nonlinear optical effect produce, as for the amount of length direction change of the outer diameter DOC per km of an optical fiber 310 (DOC/km), it is desirable that it is 2micrometers/km or more. Moreover, as for the amount (DC/DOC) of length direction change (/km) of the ratio (DC/DOC) of the diameter DC of the core to the outer diameter DOC per km of an optical fiber 310, it is desirable that it is 0.5%/km or more. In addition, it is good also as the average outer diameter per 1m of optical fibers containing in a longitudinal direction the portion which is increasing or decreasing by 2 micrometers or more. Moreover, the ratio of the diameter of a core to the outer diameter of an optical fiber is good for the length direction also as the portion which is increasing or decreasing or more by 0.005 being included.

[0169] Drawing 41 shows the refractive-index distribution of the direction of a path of an optical fiber shown in drawing 40. the ratio of core 310x and outside clad 310OC -- refractive-index difference -- the ratio of $(n_c - n_{OC})/n_{OC}$ 1.2%, inside clad 310IC, and outside clad 310OC -- refractive-index difference -- $(n_{IC} - n_{OC})/n_{OC}$ is -0.6% In addition, n_c is [the refractive index of inside clad 310IC and n_{OC} of the refractive index of core 310x and n_{IC}] the refractive indexes of outside clad. Moreover, a nonlinear refractive index n_2 is 3.8×10^{-16} (cm²/W), and the diameter MFD of the mode field is 5.2 micrometers.

[0170] Drawing 42 shows the light source system which used the above-mentioned light equipment. The light source 100 is an optical fiber ring laser, and generates the pulsed light of 1.55-micrometer band. The light source 100 and the optical fiber amplifier 200 are connected by the optical fiber OP1. The optical fiber amplifier 200 is erbium addition fiber amplifier. The pulsed

light of 1.55-micrometer band by which outgoing radiation was carried out is inputted into optical fiber F for SC light generating of one of the above through an optical fiber OP2 from the optical fiber amplifier 200. Optical fiber F outputs SC light. SC light outputted from optical fiber F is inputted into an optical separator DM through an optical fiber OP3. SC light contains the component of wavelength λ_1 , λ_2 , and λ_3 . An optical separator DM has Case HS, the input port PIN attached in Case HS, the 1st output port P1, the 2nd output port P2 and the 3rd output port P3, and two or more light filters F1, F2, F3, F4, and F5 arranged in Case HS. Light filters F1, F2, F3, F4, and F5 are dichroic mirrors. In addition, this optical separator DM has two or more lenses which are not illustrated inside.

[0171] A light filter F1 makes the light of wavelength λ_1 penetrate, and reflects the light of wavelength λ_2 and λ_3 . A light filter F2 reflects the light of wavelength λ_2 and λ_3 at least. A light filter F3 makes the light of wavelength λ_2 penetrate, and reflects the light of wavelength λ_3 . A light filter F4 reflects the light of wavelength λ_3 at least. The light of wavelength λ_1 which passed the light filter F1 is inputted into an output port P1, and is outputted through an optical fiber OP4. The light of wavelength λ_2 which passed the light filter F3 is inputted into an output port P2, and is outputted through an optical fiber OP5. The light of the wavelength λ_3 reflected with the light filter F4 is inputted into an output port P3, and is outputted through an optical fiber OP6.

[0172] The above-mentioned distribution D can use not only for generation of SC light but for generation of idler light optical fiber F which decreased to the travelling direction of light.

[0173] Drawing 43 shows the light equipment which generates idler light. The light source 100 with which this equipment carries out outgoing radiation of the excitation light (pump light) of 1.55-micrometer band, The erbium-doped optical fiber amplifier 200 which is connected by the optical fiber OP1 and amplifies excitation light, It has the optical fiber OP9 into which the light by which outgoing radiation was carried out from the optical fiber OP8 and optical fiber F into which the light it was multiplexed [light] with the optical multiplexing machine WDM into which excitation light and two or more signal light λ_{10} and λ_{20} are inputted through an optical fiber OP7, and the optical multiplexing vessel WDM is inputted, and optical fiber F is inputted.

[0174] In addition, the peak power of excitation light λ_P is weak to the grade used as SC light, when the excitation light λ_P itself passes optical fiber F. Two or more signal light λ_{10} and λ_{20} is inputted into the optical multiplexing machine WDM through an optical fiber OP7.

[0175] drawing 44 -- an optical fiber -- inputting -- having -- excitation -- light -- λ -- P -- a signal -- light -- λ_{10} -- λ_{20} -- and -- outgoing radiation -- light -- λ_{10} -- λ_{20} -- ' -- λ_{10} -- λ_{20} -- ' -- light -- intensity -- a relation -- being shown . If the signal light λ_{10} is inputted into optical fiber F, to wavelength λ_P of excitation light, within optical fiber F, the light of the wavelength of a symmetric position and idler light $\lambda_{10}' (= \lambda_P - (\lambda_{10} - \lambda_P))$ will occur, and outgoing radiation will be carried out. If the signal light λ_{20} is inputted into optical fiber F, to wavelength λ_P of excitation light, within optical fiber F, the light of the wavelength of a symmetric position and idler light $\lambda_{20}' (= \lambda_P - (\lambda_{20} - \lambda_P))$ will occur, and outgoing radiation will be carried out. That is, wavelength λ_{10}' and the idler light which has λ_{20}' have the relation of the signal light and phase conjugation which have wavelength λ_{10} and λ_{20} . Here, it is thought that idler light is generated by 4 light-wave mixture. In addition, the distribution D of optical fiber F is decreasing along the length direction, therefore when a distributed slope is positive, the zero dispersive-wave length λ_0 increases along the length direction. Wavelength λ_P of the excitation light by which outgoing radiation is carried out from the excitation light source 100 is changeable. Therefore, without changing the wavelength of the signal light λ_{10} and λ_{20} , by changing wavelength λ_P , the wavelength of idler light λ_{10}' and λ_{20}' can be changed, and the power of the idler light at that time can avoid a bird clapper small rapidly.

[0176] Drawing 45 - drawing 51 are graphs which show a relation with the intensity (power) of wavelength λ_P (nm) and idler light λ_{10}' (or λ_{20}') of excitation light. The

incidence power of excitation light and signal light is 10dBm respectively.

[0177] Drawing 45 shows a relation with the intensity (dBm) of wavelength λ_P (nm) and idler light λ_{10}' of the excitation light at the time of carrying out adjustable [of the wavelength λ_P of excitation light], setting wavelength λ_{10} [of excitation light] P (nm), and wavelength difference $\Delta\lambda$ with the wavelength λ_{10} of signal light (nm) to 5nm. The zero dispersive-wave length λ_0 with a length of 1km of optical fiber F is fixed along the length direction, and is 1550nm. In this case, although the intensity of high idler light λ_{10}' is obtained when wavelength λ_P of excitation light is in agreement with the zero dispersive-wave length λ_0 , it turns out that the valley of efficiency where the output power of idler light becomes [λ_P] small rapidly near (1539nm and 1561nm) has appeared.

[0178] A relation with the intensity (dBm) of wavelength λ_P (nm) and idler light λ_{10}' of the excitation light at the time of drawing 46 setting wavelength λ_{10} [of excitation light] P (nm) and wavelength difference $\Delta\lambda$ with the wavelength λ_{10} of signal light (nm) to 5nm, and carrying out adjustable [of the wavelength λ_P of excitation light] is shown. The zero dispersive-wave length λ_0 with a length of 1km of optical fiber F changes to alignment among 1545nm – 1555nm along the length direction. In this case, although the intensity of high idler light λ_{10}' is obtained when wavelength λ_P of excitation light is in agreement with the zero dispersive-wave length λ_0 like the above, change of the output power of the idler light when changing λ_P is small.

[0179] A relation with the intensity (dBm) of wavelength λ_P (nm) and idler light λ_{10}' of the excitation light at the time of drawing 47 setting wavelength λ_{10} [of excitation light] P (nm) and wavelength difference $\Delta\lambda$ with the wavelength λ_{10} of signal light (nm) to 5nm, and carrying out adjustable [of the wavelength λ_P of excitation light] is shown. The zero dispersive-wave length λ_0 with a length of 1km of optical fiber F changes to alignment among 1535nm – 1565nm along the length direction. In this case, although the intensity of high idler light λ_{10}' is obtained when wavelength λ_P of excitation light is in agreement with the zero dispersive-wave length λ_0 like the above, change of the output power of idler light becomes still smaller than the above-mentioned about λ_P , and it turns out that it is the low of λ_P dependency, i.e., the fiber in which wide band use is possible.

[0180] A relation with the intensity (dBm) of wavelength λ_P (nm) and idler light λ_{10}' of the excitation light at the time of drawing 48 setting wavelength λ_{10} of signal light (nm) to 1560nm, and carrying out adjustable [of the wavelength λ_P of excitation light] is shown. The zero dispersive-wave length λ_0 with a length of 1km of optical fiber F is fixed along the length direction, and is 1550nm. In this case, in accordance with the zero dispersive-wave length λ_0 , when close to λ_0 , the intensity of high idler light λ_{10}' is obtained for wavelength λ_P of excitation light. However, if λ_P becomes shorter than λ_0 , idler luminous intensity will decrease rapidly.

[0181] A relation with the intensity (dBm) of wavelength λ_P (nm) and idler light λ_{10}' of the excitation light at the time of drawing 49 setting wavelength λ_{10} of signal light (nm) to 1560nm, and carrying out adjustable [of the wavelength λ_P of excitation light] is shown. The zero dispersive-wave length λ_0 with a length of 1km of optical fiber F changes to alignment among 1542nm – 1552nm along the length direction. In this case, unlike the aforementioned conditions, although the intensity of high idler light λ_{10}' is obtained when wavelength λ_P of excitation light is within the limits of the zero dispersive-wave length λ_0 , and when it is in less than 5nm from the wavelength λ_{10} of signal light, even if λ_P becomes shorter than 1550nm, idler luminous intensity is not decreasing so much. In addition, the zero dispersive-wave length λ_0 will also check that the intensity of high idler light λ_{10}' is obtained, if it is changing to 5nm or more alignment in the length direction.

[0182] A relation with the intensity (dBm) of wavelength λ_P (nm) and idler light λ_{10}' of the excitation light at the time of drawing 50 setting wavelength λ_{10} of signal light (nm) to 1560nm, and carrying out adjustable [of the wavelength λ_P of excitation light] is shown. The zero dispersive-wave length λ_0 with a length of 1km of optical fiber F changes to alignment among 1545nm – 1555nm along the length direction. in this case, wavelength within the limits of 1545nm – 1560nm -- setting -- abbreviation -- the intensity of uniform idler light

λ_{10}' is obtained. This means that the output intensity of idler light does not change even if it makes λ_{dap} adjustable, will give optionality to the wavelength of idler light, namely, can realize wide band-ization on it.

[0183] A relation with the intensity (dBm) of wavelength λ_{dp} (nm) and idler light λ_{10}' of the excitation light at the time of drawing 51 setting wavelength λ_{10} of signal light (nm) to 1560nm, and carrying out adjustable [of the wavelength λ_{dp} of excitation light] is shown. The zero dispersive-wave length λ_0 with a length of 1km of optical fiber F changes to alignment among 1547nm – 1557nm along the length direction. in this case, this case — wavelength within the limits of 1550nm – 1560nm — setting — abbreviation — the intensity of uniform idler light λ_{10}' is obtained, and wide-band-izing is possible like the case where it is drawing 50

[0184] In order to generate idler light efficiently, it is desirable for wavelength λ_{dp} of excitation light to be in agreement with the zero dispersive-wave length λ_0 . The zero dispersive-wave length λ_0 of this optical fiber F differs in the longitudinal direction, and the range contains wavelength λ_{dp} of excitation light. Wavelength λ_{dp} of excitation light is in agreement with the predetermined zero dispersive-wave length λ_0 in the predetermined position of the longitudinal direction of optical fiber F. Therefore, this optical fiber F cannot be based on wavelength λ_{dp} of excitation light, but can generate idler light λ_{10}' and λ_{20}' efficiently. In addition, in order to generate idler light efficiently, it is desirable that the absolute value of the distributed slope DSLOP in the wavelength range of the signal light of optical fiber F is below 0.04 [ps/nm²/km]. Moreover, as for the distribution D in the wavelength range of signal light, it is desirable to include the field which decreases in number or increases in the length direction of Fiber F.

[0185] moreover, the nonlinear refractive index of optical fiber F in order to make a nonlinear optical effect produce, when the peak power of A_{eff} and excitation light λ_{dp} is P_{peak} [n_2 and the effective core cross section] $n_2 \geq 3.2 \times 10^{-20}$ (m²/W) and $A_{eff} \leq 50 \times 10^{-12}$ (m²) and $P_{peak} \geq 10 \times 10$ — it is desirable that it is ≥ 3 (W), therefore it is desirable that it is $x(n_2/A_{eff})$ $P_{peak} \geq 6.4 \times 10^{-12}$ Moreover, in order to make a nonlinear optical effect produce, it is still more desirable that it is $n_2 \geq 4 \times 10^{-20}$ (m²/W). moreover, the ratio of core 310x shown in drawing 40 in order to make a nonlinear optical effect produce, and outside clad 310OC — refractive-index difference ** — the ratio of $+(n_c - n_{OC})/n_{OC}$ 1.2% or more, inside clad 310IC, and outside clad 310OC — as for refractive-index difference *** $(= (n_{OC} - n_{IC})/n_{OC})$, it is desirable that it is $\leq -0.6\%$ or less In addition, in this example, the refractive index n_{OC} of outside clad 310OC is a refractive index of a quartz.

[0186] this invention is not limited to an above-mentioned operation gestalt or an above-mentioned example, and can deform. For example, the mode of reduction in a wavelength dispersion may be an exponential-function target etc., and the concrete mode of the optical fiber for SC light generation is not limited to the mode of the numeric value of the above-mentioned example.

[0187]

[Effect of the Invention] As mentioned above, according to the optical fiber of this invention, are the generation field of nonlinear-phenomenon light, such as main super contest tee NIUMU light and idler light, and it sets in the direction in which light should advance as explained in detail. Since it has the distributed reduction field where a wavelength dispersion decreases at least by the part, without a wavelength dispersion increasing If high peak pulsed light inputs into the distributed reduction field of the optical fiber of this invention, since the middle to 4 light-wave mixture occurs [self-phase modulation] efficiently further from the time of incidence, nonlinear-phenomenon light will be generated efficiently at least.

[Translation done.]

*** NOTICES ***

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.**** shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

DESCRIPTION OF DRAWINGS

[Brief Description of the Drawings]

- [Drawing 1] The block diagram of the light equipment of the 1st operation gestalt.
- [Drawing 2] Explanatory drawing of the optical fiber 310 used with the 1st operation gestalt.
- [Drawing 3] The graph which shows the relation between the value of the ratio of a nonlinear refractive index and the effective core cross section, and the wavelength width of face of SC light.
- [Drawing 4] The block diagram of the light equipment of an example 1.
- [Drawing 5] The graph which shows the spectrum of the high peak pulsed light in the light equipment of an example 1, and generated SC light.
- [Drawing 6] The block diagram of the light equipment of an example 2.
- [Drawing 7] The graph which shows the spectrum of SC light generated with the light equipment of an example 2.
- [Drawing 8] The block diagram of the light equipment of an example 3.
- [Drawing 9] The graph which shows the spectrum of SC light generated with the light equipment of an example 3.
- [Drawing 10] The block diagram of the light equipment of an example 4.
- [Drawing 11] The graph which shows the spectrum of SC light generated with the light of an example 4.
- [Drawing 12] The graph which shows the spectrum of SC light generated with the light of an example 4.
- [Drawing 13] The block diagram of the light equipment of an example 5.
- [Drawing 14] The graph which shows the spectrum of SC light generated with the light of an example 5.
- [Drawing 15] The block diagram of the light equipment of the 2nd operation gestalt.
- [Drawing 16] The block diagram of the optical fiber 320 used with the 2nd operation gestalt.
- [Drawing 17] The block diagram of the light equipment of an example 6.
- [Drawing 18] The graph which shows the spectrum of SC light generated with the light of an example 6.
- [Drawing 19] The block diagram of the light equipment of the 3rd operation gestalt.
- [Drawing 20] The block diagram of the optical fiber 320 used with the 3rd operation gestalt.
- [Drawing 21] The block diagram of the light equipment of an example 7.
- [Drawing 22] The graph which shows the spectrum of SC light generated with the light of an example 7.
- [Drawing 23] The block diagram of the light equipment of the 4th operation gestalt.
- [Drawing 24] The block diagram of the optical fiber 320 used with the 4th operation gestalt.
- [Drawing 25] The block diagram of the light equipment of an example 8.
- [Drawing 26] The graph which shows the spectrum of SC light generated with the light of an example 8.
- [Drawing 27] The block diagram of the light equipment of the 5th operation gestalt.
- [Drawing 28] The block diagram of the optical fiber 320 used with the 5th operation gestalt.
- [Drawing 29] The block diagram of the light equipment of an example 9.

[Drawing 30] The graph which shows the spectrum of SC light generated with the light of an example 9.

[Drawing 31] The graph which shows the relation between wavelength λ (nm) and a wavelength dispersion D.

[Drawing 32] The graph which shows the relation between wavelength λ (nm) and a wavelength dispersion D.

[Drawing 33] The block diagram of the light equipment of the 6th operation gestalt.

[Drawing 34] The graph which shows the relation between wavelength λ (nm) and optical intensity (dBm).

[Drawing 35] The graph which shows the relation between wavelength λ (nm) and optical intensity (dBm).

[Drawing 36] The graph which shows the relation between wavelength λ (nm) and a wavelength dispersion (ps/km/nm).

[Drawing 37] The graph which shows the relation between wavelength λ (nm) and optical intensity (dBm).

[Drawing 38] The graph which shows the relation between wavelength λ (nm) and optical intensity (dBm).

[Drawing 39] The graph which shows the relation between wavelength λ (nm) and optical intensity (dBm).

[Drawing 40] The cross section of an optical fiber.

[Drawing 41] Drawing showing the refractive-index distribution which met the optical fiber diameter.

[Drawing 42] The structure-of-a-system view using SC light equipment.

[Drawing 43] The structure-of-a-system view using idler light equipment.

[Drawing 44] The graph which shows the relation between wavelength λ (nm) and optical intensity.

[Drawing 45] The graph which shows the relation between wavelength λ (nm) and optical intensity (dBm).

[Drawing 46] The graph which shows the relation between wavelength λ (nm) and optical intensity (dBm).

[Drawing 47] The graph which shows the relation between wavelength λ (nm) and optical intensity (dBm).

[Drawing 48] The graph which shows the relation between wavelength λ (nm) and optical intensity (dBm).

[Drawing 49] The graph which shows the relation between wavelength λ (nm) and optical intensity (dBm).

[Drawing 50] The graph which shows the relation between wavelength λ (nm) and optical intensity (dBm).

[Drawing 51] The graph which shows the relation between wavelength λ (nm) and optical intensity (dBm).

[Description of Notations]

100 [— 341 An optical fiber, 342,351,352,353 / -- Optical fiber.] — A pulse generator, 200 — 310 A light amplifier, 320,330,340,350

[Translation done.]